# ACADÉMIE DES SCIENCES.

## SÉANCE DU LUNDI 24 JANVIER 1921.

PRESIDENCE DE M. GEORGES LEMOINE.

---

## MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

### DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

Après le dépouillement de la Correspondance, M. le **Président** s'exprime en ces termes :

J'ai la douleur d'annoncer à l'Académie des Sciences la mort de notre confrère M. **Georges Humbert**.

Depuis longtemps, nous ne le voyions que rarement à nos séances. Son état de santé l'avait obligé à vivre la plus grande partie de l'année à la campagne. Depuis deux mois environ, sa maladie s'étant aggravée, il s'était réinstallé à Paris. Il y est mort avant-hier, 22 janvier 1921, soutenu dans de très pénibles souffrances par sa foi chrétienne dans une vie meilleure.

M. Humbert était né à Paris le 7 janvier 1859. Il était entré le premier à l'École Polytechnique en 1877 et en était sorti dans le corps des Mines. Il avait passé une thèse de docteur ès sciences en 1885. Professeur à l'École des Mines, il était devenu ingénieur en chef, puis inspecteur général. En même temps, il était entré dans le corps enseignant de l'École Polytechnique, sur la présentation des Conseils : répétiteur en 1884, il était devenu professeur d'Analyse en 1885. Très aimé de ses élèves, il leur faisait comprendre les questions les plus difficiles ; ses leçons étaient des modèles de clarté : il les a réunies dans un livre très apprécié.

M. Humbert était également professeur au Collège de France depuis 1912, époque de la retraite de M. Camille Jordan qu'il avait suppléé pendant plusieurs années.

Porté de très bonne heure sur les listes de présentation de la Section

de Géométrie, il avait été élu membre de l'Académie des Sciences le 18 mars 1901.

L'œuvre mathématique de M. Humbert est très considérable et très originale. J'éprouve, je l'avoue, beaucoup d'embarras à essayer d'en rendre compte : on sait qu'aujourd'hui les mathématiques ont atteint une élévation extraordinaire au-dessus des enseignements classiques de nos grandes écoles ou de la licence ès sciences, élévation presque impossible à atteindre, même pour ceux qui n'ont pas perdu contact avec ces disciplines de spéculation pure d'un si vif intérêt pour leur jeunesse. Le témoignage de nos confrères les plus compétents peut cependant en donner une idée générale.

Les Mémoires de M. Humbert se rattachent à la fois à l'analyse et à la géométrie et traitent principalement de la théorie des courbes et des surfaces algébriques. L'un de ses premiers travaux a consisté à exprimer sous une forme précise et explicite les conditions pour qu'une intégrale abélienne ait une valeur algébrique. Vinrent ensuite des compléments importants et féconds à la théorie des surfaces cyclides.

Mais c'est surtout sur le théorème d'Abel que se sont dirigées les recherches de notre confrère. Certains systèmes de différentielles algébriques ont une somme rationnelle. Il fallait déterminer la valeur effective de cette somme. M. Humbert a trouvé une transformation qui y conduit facilement. De nombreuses conséquences en sont résultées.

On remarque encore une longue série de recherches sur l'application des transcendantes à la géométrie. Les monographies qui se rattachent à ces questions sont, dit-on, des modèles d'élégance et de clarté.

En 1892, le prix Bordin avait été décerné à M. Humbert pour les applications de la théorie générale des fonctions abéliennes à la géométrie. L'auteur compléta par deux Mémoires d'une très grande valeur celui qui avait été couronné.

Le travail le plus remarquable peut-être de M. Humbert est relatif aux transformations singulières des intégrales hyperelliptiques et aux multiplications complexes qui en résultent. M. Hermite, dans un Mémoire célèbre, avait indiqué toutes les transformations possibles des intégrales hyperelliptiques lorsque les périodes restent arbitraires; mais si elles sont reliées par certaines relations spéciales, de nouvelles transformations peuvent être réalisées ; c'est ce qu'a montré M. Humbert.

L'importance de toutes ces publications est établie par l'impulsion qu'en a reçue l'arithmétique supérieure.

Depuis son élection à l'Académie, M. Humbert, toujours dominé par l'attrait de la recherche mathématique, n'a pas cessé sa production scientifique: il s'est occupé surtout des formes quadratiques et des développements en fractions continues.

Cette poursuite constante de la vérité abstraite était jointe chez M. Humbert à une grande élévation d'idées sur les problèmes de la vie. Elles l'ont soutenu au milieu des vicissitudes de l'existence aussi bien que les affections dont il était entouré. D'un caractère charmant, il n'avait que des amis dans tous les milieux auxquels il se trouvait mêlé. Pour ma part, j'éprouve un grand chagrin à voir disparaître l'un des plus aimables représentants de la génération qui me suit, l'un de nos plus éminents élèves de l'École Polytechnique, sous tous les rapports un modèle pour les jeunes qui viennent après nous.

Une des grandes satisfactions de M. Humbert avait été de voir son fils, sorti également de l'École Polytechnique, s'adonner comme lui à la recherche mathématique, fixer sa vie par un excellent mariage et devenir professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier; malheureusement atteint en même temps que son père d'une maladie très sérieuse, il n'a pu assister à ses derniers moments.

A la digne veuve de notre confrère si aimé et à ses enfants, j'offre au nom de l'Académie des Sciences l'expression attristée de nos plus vifs regrets et le témoignage de notre profonde sympathie.

La séance sera levée en signe de deuil aussitôt après l'élection d'un membre de la Section de Médecine et Chirurgie.

M. **André Blondel** informe l'Académie qu'une cérémonie commémorative du centenaire des découvertes fondamentales d'**Ampère** en électrodynamique vient d'avoir lieu au village d'Ampère (États-Unis). L'Académie était représentée par M. *Mailloux*.

GÉOLOGIE. — *Sur l'âge des phénomènes de charriage dans les montagnes de Gigondas* (*Vaucluse*). Note de MM. **Pierre Termier** et **Léonce Joleaud**.

Les montagnes de Gigondas dessinent au sud-ouest du Ventoux plusieurs lignes de crêtes, où l'érosion a sculpté, dans des barres de calcaires juras-

siques parfois dressés verticalement, toute une série de *dentelles* et d'*aiguilles*, telles que le rocher du Turc (630$^{m}$) et la pyramide de Saint-Amand (734$^{m}$). Leur modelé, au profil hardi et profondément déchiqueté, contraste avec l'aspect tabulaire des plateaux du Languedoc et avec la physionomie massive des chaînons du Dauphiné et de la Provence.

La géologie de ces montagnes a fait l'objet de nombreux Mémoires de stratigraphie. M. Léenhardt [1] en a donné une excellente description, plus spécialement des terrains jurassiques et crétacés : marnes du Callovien et de l'Oxfordien, marno-calcaires de l'Argovien et du Rauracien, calcaires lités du Séquanien et du Kimméridgien inférieur, calcaires massifs du Kimméridgien supérieur et du Portlandien, calcaires marneux du Berriasien, marnes du Valanginien moyen, calcaires du Valanginien supérieur et de l'Hauterivien. F. Fontannes [2] a esquissé la succession des terrains oligocènes et miocènes, dont l'étude a été reprise plus tard par l'un de nous [3] : calcaires à empreintes de Poissons, marnes multicolores et gypses du Sannoisien, sables et calcaires à *Melanoides Lauræ* du Stampien, mollasse marneuse de l'Aquitanien, mollasse calcaire du Burdigalien, argiles et grès de l'Helvétien.

Indépendamment de ces diverses formations, les montagnes de Gigondas présentent, surtout au Sud-Est, de larges affleurements d'autres terrains, que M. Léenhardt a réunis sous le nom d'*horizon de Suzette*. F. Fontannes a figuré ce complexe sur la feuille *Orange*, de la Carte géologique détaillée, avec la notation $e^{1-3}$. Depuis, l'un de nous a montré qu'il y a, là dedans, non seulement de l'Éocène, mais aussi du Trias [4]. Le Trias est beaucoup plus développé que l'Éocène. Quand ces deux terrains se touchent, leur contact est anormal.

L'Éocène est surtout développé dans le pays raviné et boisé qui s'étend au nord du Petit-Montmirail, des Petites-Eaux et de Beaumes-de-Venise. Il est en parfaite continuité avec l'Oligocène, comme le montre, par exemple, la coupe du ravin des Crottes, où nous avons observé, sous le Sannoisien, une épaisseur de plusieurs centaines de mètres de sables, de

(1) *Étude géologique de la région du Mont-Ventoux*, 1883.

(2) *Le groupe d'Aix dans le Dauphiné, la Provence et le Bas-Languedoc*, 1885, p. 35-53.

(3) L. JOLEAUD, *Comptes rendus*, t. 144, 1907, p. 345, et t. 145, p. 1233; *Bull. Soc. géol. France*, t. 8, 1908, p. 41; *Géologie du Comtat*, Terrains néogènes, t. 2, 1912, pl. III, fig. 21.

(4) L. JOLEAUD, *loc. cit.*

grès, d'argiles et de conglomérats. Des bancs calcaires, qui s'intercalent vers la partie inférieure de cet ensemble, sont sans doute l'équivalent des calcaires à *Planorbis pseudo-ammonius* de la région. Ce Gastropode a, d'ailleurs, été signalé par F. Fontannes ([1]) à la grange Peyrier, dans un vallon à l'est de Suzette. La série éocène de Gigondas se continue sur le revers sud-occidental du Ventoux, où elle présente également, entre Crillon et Jocas, des calcaires dont la position stratigraphique ne laisse pas de doute sur leur âge lutétien. Il semble donc très probable que *la série détritique, avec intercalations calcaires vers la base, du ravin des Crottes, correspond à l'Éocène moyen et supérieur.*

Le Trias est surtout développé au sud-est des barres jurassiques, depuis Souiras et Urban jusqu'au pied de l'arête calcaire burdigalienne qui entoure la cuvette de Malaucène. Ce terrain est constitué par des cargneules et des argiles, auxquelles sont associés localement des gypses et des calcaires dolomitiques jaunâtres en plaquettes. Sa couleur générale, jaune ou rougeâtre, contraste avec le gris noir de l'Oxfordien et avec le blanc du Jurassique supérieur.

A droite et à gauche du chemin de Lafare à Suzette, ce Trias repose, par une surface de contact presque horizontale, sur les marnes du Callovo-oxfordien : vers sa base, on observe fréquemment des mylonites, qui se lient intimement aux cargneules. La superposition constante de ces formations au Jurassique avait induit en erreur MM. Léenhardt et Fontannes, qui faisaient des cargneules le terme le plus inférieur du Tertiaire continental des montagnes de Gigondas. En réalité, cette situation stratigraphique apparente est simplement la conséquence du *charriage sur le Jurassique d'une nappe de Trias* ([2]) depuis longtemps signalée par l'un de nous ([3]). L'épaisseur du Trias charrié est souvent supérieure à 100$^{m}$; elle peut atteindre 300$^{m}$. Il repose indifféremment, avec une allure transgressive, sur les divers termes, plissés énergiquement, du Secondaire et du Nummulitique. Des débris, parfois très gros, de calcaire portlandien, se mélangent,

---

([1]) *Loc. cit.*, p. 42-43.

([2]) Des roches variées y sont emballées. Ainsi M. Léenhardt (*loc. cit.*, p. 132) y a indiqué des calcaires à articles d'Encrines de faciès infraliasique; dans d'autres calcaires il a trouvé des aptychus peut-être néocomiens. Raspail (*in* Léenhardt, *loc. cit.*, p. 131, n° 2) y aurait observé, dans des grès, des fossiles analogues à ceux d'Uchaux (Turonien) et Renaux (*Ibid.*, p. 210, n° 1), dans des calcaires, un *Lychnus* du Danien.

([3]) L. Joleaud, *Comptes rendus*, t. 145, 1907, p. 1233.

çà et là, dans la mylonite, aux cargneules écrasées et aux calcaires triasiques brisés.

*Le charriage est certainement postérieur à l'Oligocène.* La coupe donnée par M. Léenhardt [1] du coteau qui porte le village de Crillon est particulièrement instructive à cet égard : des cargneules subordonnées au conglomérat miocène viennent, là, en recouvrement sur les marnes vertes avec gypses et calcaires du Tongrien-Ludien. Ailleurs, ces terrains se retrouvent localement dans les replis de la nappe triasique, entre Lafare, Suzette et Malaucène : ainsi M. Léenhardt y signale dans le ravin de la Combe, au sud-est de Suzette, l'intercalation dans les cargneules d'un lambeau d'Oligocène, auquel est accolé un petit paquet de marnes oxfordiennes; plus en amont, au-dessus de Gardon, et plus à l'Est, vers Bonfils et Cleyrier, des marno-calcaires tongriens s'insinuent également dans la masse des cargneules [2]. Le Trias a certainement recouvert l'Oligocène dans la plus grande partie du massif : nous en avons, en effet, retrouvé un minuscule affleurement sur le Tongrien, au contact du Néocomien, à l'ouest de la grange Fabre, le long du chemin de Suzette à Malaucène.

*La nappe de Gigondas a été mise en sa place avant le Miocène*, comme le montre la disposition générale des terrains au voisinage de la pyramide de Saint-Amand. Le point culminant du massif est, en effet, occupé par un lambeau de mollasse burdigalienne, beaucoup plus étendu vers le Sud que ne l'indique la carte de Fontannes. Il s'avance, d'une part, jusque près de Suzette, d'autre part, jusqu'à la font au Buis. Non loin de cette source, où il avait déjà été figuré par M. Léenhardt, il repose nettement sur la nappe triasique, et son conglomérat de base, plus ou moins bréchoïde, en remanie les éléments calcaires ou dolomitiques.

En somme, la nappe de Gigondas est exactement du même âge que les écailles de la Montagnette, du plateau de Villeneuve-lez-Avignon, et que les klippes d'Alais. Les mouvements tectoniques qui leur ont donné naissance se sont effectués après l'Oligocène et avant le Miocène, très vraisemblablement entre le Chattien et l'Aquitanien [3].

*La nappe de Gigondas a naturellement été affectée par les mouvements miocènes, qui se sont produits après l'Helvétien.* Au nord de Beaumes, MM. Léenhardt et Fontannes ont attribué à l'Oligocène des gypses incon-

---

(1) *Loc. cit.*, p. 172, fig. 32.

(2) Léenhardt, *loc. cit.*, p. 133-136.

(3) P. Termier et L. Joleaud, *Comptes rendus*, t. 172, 1921, p. 24.

testablement triasiques. Ceux-ci, au sud du moulin de Mitre, sur la rive droite du ruisseau de Salette, viennent directement en contact avec la mollasse à *Pecten Davidi*, dont les couches sont fortement redressées. Lorsqu'on suit la crête burdigalienne vers l'Ouest, on voit s'intercaler graduellement, entre le Miocène et le Trias, une série d'assises subverticales correspondant aux différents termes de l'Oligocène et de l'Éocène qui ont été coupés en biseau par la nappe : au contact de l'Éogène et du Trias se développe une plus ou moins grande épaisseur de brèches. Des mouvements posthumes ont donc fait ici déborder la nappe triasique qui a redressé l'Éogène et renversé sous elle le Miocène, par suite de la poussée au vide, depuis le voisinage de Beaumes jusque près des Crottes. Le Néogène demeure au contraire faiblement incliné en dehors du massif, dans la plaine de Carpentras notamment. Des faits analogues s'observent aussi bien au Nord-Ouest, près de Gigondas, qu'au Nord-Est, en bordure de la cuvette de Malaucène.

Nous avons dit que le manteau de la nappe triasique qui s'étale de Suzette au moulin de Mitre a recouvert indifféremment les divers étages du Jurassique, du Crétacé inférieur, de l'Éocène et de l'Oligocène. Les mouvements tectoniques qui ont donné naissance à cette nappe ont repris dans les replis de la nappe des lambeaux du substratum. Ils n'ont cependant pas modifié profondément les dislocations de l'Autochtone, dont l'orientation se retrouve non seulement dans les arêtes tithoniques des Dentelles et de La Roque Alric, mais encore dans les barres urgoniennes du Barroux. Les relations de ces accidents tectoniques et des assises détritiques éocènes témoignent de *l'âge pyrénéo-provençal de ces plis*, comme pouvait, d'ailleurs, le faire prévoir *leur direction WSW-ENE :* les conglomérats si développés aux abords de Crillon, au pied de la terminaison occidentale du Ventoux, correspondent stratigraphiquement et tectoniquement aux poudingues de Palassou du revers nord des Pyrénées.

Le pli Ventoux-Lure, magistralement décrit par MM. Léenhardt et Kilian, serait donc un pli provençal de direction générale Ouest-Est, ayant rejoué après le Miocène. De même les écailles de la Montagnette et du plateau de Villeneuve-lez-Avignon sont formées par le groupement de plis provençaux Ouest-Est que recoupent obliquement les surfaces de charriage d'Aramon-Saint-Pierre-du-Terme, des Bouisses, etc.

*L'ensemble de la nappe triasique de Gigondas et de son substratum* affecté par les dislocations provençales *a été* aussi *replissé lors de la phase alpine.* Celle-ci s'est traduite, non seulement par une remise en mouvement de la

nappe, mais aussi par une accentuation des dislocations WSW-ENE et par une surélévation du vaste bombement elliptique à grand axe Nord-Sud Vaison-Gigondas : le Burdigalien a été ainsi porté au centre du massif jusqu'à la côte 734, tandis qu'à la périphérie les différents étages miocènes, y compris le Pontien, dessinent des auréoles concentriques que recoupent transversalement les affleurements de Pliocène marin.

*En somme, trois séries de mouvements tectoniques se sont succédés dans les montagnes de Gigondas : 1° la phase des plissements pyrénéens WSW-ENE contemporains de l'Éocène moyen et supérieur* ([1]); *2° la phase de charriage des nappes postérieure à l'Oligocène (Chattien) et antérieure au Miocène (Aquitanien); 3° la phase des mouvements alpins, datant du Miocène supérieur (Pontien) et consistant ici dans la surrection d'un dôme allongé du Sud au Nord avec renversement local, en quelques points de sa périphérie, des terrains antémiocènes sur le Miocène lui-même.* Dans ce dernier mouvement, il y a eu glissement de la couverture miocène sur les terrains plissés sous-jacents : et c'est ainsi qu'au sud de Suzette, on peut voir, traînant sur le Trias, et sur les mylonites triasiques, des lambeaux d'une autre mylonite, bien plus récente, à débris, pêle-mêle, de Burdigalien et de Portlandien.

## OPTIQUE. — *Sur un théorème d'optique géométrique, et son application aux systèmes de prismes.* Note ([2]) de M. G. Gouy.

1. Dans divers systèmes optiques, on peut trouver aisément la marche des rayons et des ondes pour un certain faisceau, que nous appellerons *privilégié*, tandis que les autres faisceaux présentent plus de difficultés. Nous allons montrer que, de la connaissance du faisceau privilégié, on peut déduire les propriétés d'un faisceau peu différent, par une construction très simple.

Nous considérons un système formé de corps homogènes ([3]), qui

---

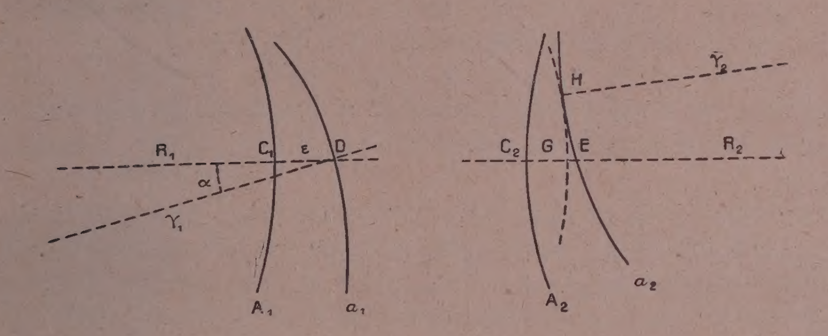
([1]) Ce plissement WSW-ENE a été extrêmement énergique : il consiste en des plis très aigus dans une série antérieurement affectée par des glissements élémentaires et où beaucoup d'étages avaient été supprimés, du fait de ces glissements. Les contacts des divers étages du Jurassique et du Crétacé sont presque tous anormaux.

([2]) Séance du 17 janvier 1921.

([3]) Cette condition de l'homogénéité n'est pas nécessaire, comme on le verra en suivant la démonstration; il suffit que les propriétés optiques ne varient pas rapidement d'un point à un autre. Nous l'introduisons pour ne pas compliquer l'exposé inutilement.

peuvent être anisotropes, dont les surfaces utilisées n'ont ni discontinuités ni rayons de courbure très petits. La lumière est homogène; le faisceau incident et le faisceau émergent sont dans des milieux isotropes dont les indices sont $n_1$ et $n_2$.

Considérons, à l'origine du temps, une onde incidente $A_1$ et l'un de ses rayons $R_1$; soient $A_2$ l'onde émergente correspondant au temps $t$, et $R_2$ la




continuation du rayon $R_1$ ([1]). Soient $C_1$ le point de l'onde $A_1$ qui est sur $R_1$, et $C_2$ le point de l'onde $A_2$ qui est sur $R_2$.

Considérons, à l'origine du temps, une autre onde $a_1$; soit D son intersection avec $R_1$; posons

$$\varepsilon = \overline{DC_1}.$$

Au temps $t$, l'onde correspondante est $a_2$; elle coupe $R_2$ au point E. Soient $r_1$ celui des rayons de l'onde $a_1$ qui passe par le point D, et $r_2$ la continuation de ce rayon. L'angle $\alpha$ de $R_1$ et de $r_1$ est supposé très petit.

Le point D est un centre d'ébranlement qui produit une onde élémentaire qui coupe normalement $R_2$ en un point G, tel que $\overline{C_2G} = \varepsilon\frac{n_1}{n_2}$, et qui est tangente en H à $a_2$.

L'angle des directions de $R_2$ et de $r_2$ n'est pas grand par rapport à $\alpha$. En effet, si nous suivons les rayons $R_1$ et $r_1$ dans leur marche, nous voyons qu'à chaque réflexion ou réfraction, l'angle de leurs directions se trouve multiplié par un nombre de grandeur modérée ([2]). Nous voyons de même

---

([1]) Nous donnons au mot *rayon* le sens exact qu'il possède dans la théorie de la double réfraction.

([2]) Cela n'est plus vrai pour la réfraction avec émergence rasante, ni pour la réfraction conique; nous excluons ces deux cas.

que $\overline{HE}$ et $\overline{HG}$ sont de l'ordre de $l\alpha$, en désignant par $l$ une longueur médiocre, le parcours dans le système n'étant pas grand.

Considérons maintenant le plan qui passe par $r_2$ et par le point G, et les intersections par ce plan de l'onde $a_2$ et de l'onde élémentaire GH ; soient $\rho$ et $\rho'$ leurs rayons de courbure. Appelons E' la projection de E sur ce plan. L'angle de GE et de GE' est de l'ordre de $\alpha$; nous pouvons donc écrire

$$\overline{GE} = \overline{GE'} = \frac{1}{2}\left(\frac{\overline{HE}^2}{\rho} + \frac{\overline{HG}^2}{\rho'}\right).$$

$\overline{GE}$ est donc de l'ordre de grandeur de $\alpha^2$ multiplié par une longueur médiocre [1], et nous pourrons regarder le point G comme appartenant à l'onde $a_2$.

2. Il n'y aurait rien à en conclure si les normales à $A_2$ et à $a_2$ variaient très rapidement avec les coordonnées du point E. Mais ce n'est pas ainsi que se pose le problème physique. Les ondes $A_1$ et $a_1$ sont toujours planes ou sphériques; les surfaces des divers milieux n'ont jamais de petits rayons de courbure, en sorte que $\overline{GH}$, $\overline{EH}$, $\rho$ et $\rho'$ varient lentement, en grandeur et direction, avec les coordonnées $x$, $y$, $z$ du point E. Par suite, $x'$, $y'$, $z'$ étant les coordonnées du point G, on peut dire que $\frac{\partial(x'-x)}{\partial x}$, $\frac{\partial(x'-x)}{\partial y}$, $\frac{\partial(x'-x)}{\partial z}$, et les dérivées analogues, sont de l'ordre de $\frac{\overline{GE}}{l'}$ ou de $n\alpha^2$, $l$ étant une longueur qui n'est pas petite, et $n$ un nombre de grandeur modérée.

Supposons que la construction soit faite pour tous les points E de l'onde $a_2$; appelons $a'_2$ la surface passant par tous les points G. Soient $E_1$ et $E_2$ deux points infiniment voisins pris sur $a_2$, et $G_1$ et $G_2$ les points correspondants de $a'_2$. Les coordonnées de $E_1$ et de $E_2$ sont $x, y, z$ et $x+dx$, $y+dy$, $z+dz$; celles de $G_1$ et de $G_2$ sont $x'$, $y'$, $z'$ et

$$x' + \frac{\partial x'}{\partial x}dx + \frac{\partial x'}{\partial y}dy + \frac{\partial x'}{\partial z}dz,$$

et de même pour les deux autres. Ces dérivées, d'après ce que nous venons

---

[1] Cela est vrai même si $\rho'$ est très petit, puisque l'angle $\frac{\overline{HG}}{\rho'}$ est de l'ordre de $\alpha$. Pour éviter des complications inutiles, nous excluons le cas où $\rho$ est très petit; il suffit alors de considérer les ondes $A_2$ et $a_2$ dans une position plus avancée, loin des foyers ou des caustiques.

de dire, diffèrent de l'unité par un terme de l'ordre de $\alpha^2$. Par suite, l'angle des directions des tangentes $E_1 E_2$ et $G_1 G_2$ est de l'ordre de $\alpha^2$, et, comme $E_2$ est quelconque, il en est de même de l'angle des normales de $a_2$ et de $a'_2$.

Nous pouvons donc dire que *la distance de deux ondes simultanées de deux faisceaux peu différents, mesurée sur le même rayon de l'un d'eux, vaut un même nombre de longueurs d'onde à l'entrée et à la sortie du système*, avec une erreur du second ordre pour les normales.

3. Nous allons envisager maintenant, comme première application, le problème général de la vision d'un objet un peu éloigné, à travers un système quelconque de prismes et de miroirs plans, qui serait sans doute difficile par un calcul direct. Les constructions sont assez simples pour que nous donnions seulement les énoncés.

Les prismes que nous considérons sont en général anisotropes; leurs arêtes sont orientées d'une manière quelconque; le système est placé dans l'air (1).

Le faisceau privilégié est un faisceau parallèle, qui reste tel dans tout son parcours. Appelons *nappe* l'ensemble des rayons qui sont dans un même plan. Une nappe du faisceau incident reste une nappe dans tout le parcours. Deux nappes qui, à l'entrée étaient parallèles et à la distance $l_1$ sont encore parallèles à la sortie et leur distance $l_2$ est proportionnelle à $l_1$.

La section droite du faisceau privilégié incident est arbitraire; supposons, pour faciliter l'exposé, que ce soit un carré de côté $a$, dont deux côtés sont horizontaux. La section droite du faisceau privilégié émergent est alors un parallélogramme. Appelons $b$ les longueurs des côtés qui *correspondent* aux côtés horizontaux du carré, c'est-à-dire qui rencontrent les mêmes rayons, $c$ les longueurs des autres côtés, et $\omega$ l'angle aigu du parallélogramme.

Le point P, infiniment éloigné, produit le faisceau privilégié. Considérons une ligne PP′ perpendiculaire à ce faisceau, et dans un plan vertical; soit $\gamma$ la grandeur apparente de cette ligne. L'onde issue de P′ forme, avec l'onde privilégiée issue de P, un angle dièdre $\gamma$, dont l'arête est un des côtés horizontaux de notre carré. A la sortie, d'après notre construction, l'onde

(1) Il est facile d'étendre les résultats donnés plus loin au cas où le faisceau incident et le faisceau émergent sont dans des milieux d'indices $n_1$ et $n_2$, comme, par exemple, pour la vision d'un objet au fond de l'eau. Il suffit de multiplier les grandeurs apparentes des images par $\frac{n_1}{n_2}$, et les distances des droites focales par $\frac{n_2}{n_1}$.

issue de P′ forme, avec l'onde issue de P, un angle dièdre $\gamma \frac{a}{c \sin \omega}$, dont l'arête est un des côtés $b$ du parallélogramme.

Ainsi la ligne PP′ est vue dans une direction perpendiculaire aux côtés $b$ du parallélogramme ([1]), et sa grandeur apparente est multipliée par $\frac{a}{c \sin \omega}$.

Si la ligne PP′ était horizontale, elle serait vue dans une direction perpendiculaire aux côtés $c$ du parallélogramme, et sa grandeur apparente serait multipliée par $\frac{a}{b \sin \omega}$.

Il est facile, d'après cela, de construire l'image d'un objet quelconque à l'infini, qui est à la fois tournée, déformée, agrandie ou rapetissée.

4. Ce qui précède s'applique encore quand l'objet est moins éloigné, mais il se produit alors de l'astigmatisme. Soit un point $P_1$ sur l'axe du faisceau privilégié, à la distance L de l'entrée du système. Considérons, sur la section droite du faisceau privilégié, un cercle inscrit dans notre carré. L'onde sphérique issue de $P_1$ passe par ce cercle et, à son pôle, elle le dépasse de $\frac{a^2}{8L}$. Sur la section droite du faisceau privilégié émergent, traçons une ellipse tangente aux côtés du parallélogramme en leurs milieux; par cette ellipse passent les rayons du faisceau privilégié qui ont passé par le cercle. Soient $h$ et $k$ les longueurs des axes de cette ellipse. Cette courbe est l'*indicatrice* de la surface de l'onde émanée de $P_1$, qui, au centre, est en saillie de $\frac{a^2}{8L}$. Il en résulte que les deux focales virtuelles sont parallèles aux axes de cette ellipse, et se trouvent aux distances $L\frac{h^2}{a^2}$ et $L\frac{k^2}{a^2}$.

La connaissance du parallélogramme nous donne donc tous les renseignements utiles sur la vision d'un objet un peu éloigné. Le faisceau privilégié et son parallélogramme sont déterminés si l'on connaît seulement, dans chaque milieu, la vitesse normale d'une certaine onde plane et la direction de son rayon ([2]).

L'astigmatisme et la déformation de l'image disparaissent ensemble

---

([1]) Le sens de l'image sur cette direction est donné par ce fait que les arêtes des deux dièdres sont sur les côtés du carré et du parallélogramme qui se correspondent.

([2]) On peut s'étonner qu'il soit possible de trouver les directions d'un petit groupe de rayons, sans connaître la *forme* d'un élément de la surface d'onde de chaque milieu. L'examen de la construction de Huygens nous montre que le terme qui en dépend est du second ordre.

quand le parallélogramme se réduit à un carré [1]. Le rapport des grandeurs apparentes de l'image et de l'objet est alors $\frac{a}{b}$; il peut y avoir une rotation de l'image par rapport à l'objet.

Nous examinerons, dans une autre Note, ce que deviennent ces relations dans les cas usuels.

## ÉLECTIONS.

L'Académie procède, par la voie du scrutin, à l'élection d'un Membre de la Section de Médecine et Chirurgie, en remplacement de M. *Guyon*.

Au premier tour de scrutin, le nombre de votants étant 58,

| | | |
|---|---|---|
| M. Pierre Bazy | obtient. . . . . . . | 29 suffrages |
| M. Jean-Louis Faure | » . . . . . . . | 12 » |
| M. Pierre Delbet | » . . . . . . . | 10 » |
| M. Henri Hartmann | » . . . . . . . | 5 » |
| M. Félix Legueu | » . . . . . . . | 1 » |
| M. Théodore Tuffier | » . . . . . . . | 1 » |

Au second tour de scrutin, le nombre de votants étant 58,

| | | |
|---|---|---|
| M. Pierre Bazy | obtient. . . . . . . | 36 suffrages |
| M. Jean-Louis Faure | » . . . . . . . | 12 » |
| M. Pierre Delbet | » . . . . . . . | 8 » |
| M. Henri Hartmann | » . . . . . . | 2 » |

M. **Pierre Bazy**, ayant réuni la majorité absolue des suffrages, est proclamé élu.

Son élection sera soumise à l'approbation de M. le Président de la République.

---

[1] C'est le cas de la curieuse lunette astronomique que construisit Amici sans lentilles, avec 4 prismes pareils (Herschel, *Traité de la Lumière*, t. 1, n° 453).

## CORRESPONDANCE.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° F. Courty, *Observations des orages de* 1919 *dans les départements de la Gironde et partie de la Dordogne. Expérience des paragrêles électriques.* (Présenté par M. J. Violle.)

2° *Quelques notes sur la famille La Caille.* (Présenté par M. G. Bigourdan.)

3° *Annuario degli Istituti scientifici italiani*, diretto dal Prof. Silvio Pivano della R. Università de Parma. (Présenté par M. Vito Volterra.)

4° Sir Norman Lockyer K. C. B., F. R. S. May 17, 1836-August 16, 1920.

M. **L. Lapicque** prie l'Académie de vouloir bien le compter au nombre des candidats à la place vacante dans la Section d'Anatomie et Zoologie par le décès de M. *Yves Delage*.

M. **Léon Guillet** adresse un Rapport relatif à l'emploi de la subvention qui lui a été accordée sur la *Fondation Loutreuil* en 1917.

CHRONOMÉTRIE. — *Les déplacements élastiques transverses du centre de gravité du spiral cylindrique et des doublets.* Note [1] de M. **Jules Andrade.**

I. Le déplacement transverse du centre de gravité du spiral cylindrique d'étendue angulaire d'équilibre P, dans chacune des phases de sa déformation élastique, peut être déterminé à l'approximation de $\frac{1}{P^3}$ par la méthode de Résal et Caspari.

Et effectivement Caspari, dans sa théorie du spiral Le Roy, a indiqué pour le déplacement considéré une méthode ayant pour objet de fournir les coordonnées du centre de gravité en se bornant aux termes principaux de l'ordre de $\frac{1}{P}$.

Les formules proposées sont cependant inexactes, et l'erreur eût pu compromettre les belles conclusions du Mémoire de 1876; *par bonheur*, en ce

(1) Séance du 10 janvier 1921.

qui concerne l'objet essentiel de ce Mémoire, c'est-à-dire l'estimation du moment transmis au balancier d'un chronomètre à l'approximation de $\frac{1}{P^3}$, les erreurs faites sur les deux coordonnées transverses *se compensent finalement*, et la justification de la méthode de Le Roy n'est pas ébranlée par l'oubli de deux termes individuellement non négligeables.

II. Toutefois, comme la position précise du centre de gravité du ressort réglant des chronomètres importe à plusieurs applications nouvelles, je me propose d'indiquer, par la présente Note, la rectification qu'exige le calcul de Caspari.

L'origine des coordonnées transverses étant le pied de l'axe du balancier, l'axe des X étant dirigé vers la projection du piton sur le plan transverse, et enfin l'axe des Y se déduisant du premier axe par une rotation d'un quadrant exécutée dans le sens où le spiral se ferme, nous désignerons par $u$ la rotation qui sépare la position actuelle du balancier de sa position d'équilibre; l'étendue angulaire $\omega$ du spiral déformé est alors $P+u$; posons, avec les notations mêmes de Caspari,

$$(1)\qquad \left\{\begin{aligned} a&=-\frac{4u\sin\omega}{\Delta}\\ b&=-\frac{4u(1-\cos\omega)}{\Delta} \end{aligned}\right. \qquad \Delta=P(\omega+\sin\omega)-4(1-\cos\omega);$$

mais nous conserverons les termes en $a$ et $b$, *trop tôt négligés par Caspari*.

En posant

$$(2)\qquad \left\{\begin{aligned} J_1&=\int_0^\omega\left(1-\frac{a}{2}\cos z-\frac{b}{2}\sin z\right)\left(1-\cos z-\frac{a}{8}-\frac{b}{4}z\right)dz,\\ J_2&=\int_0^\omega\left(1-\frac{a}{2}\cos z-\frac{b}{2}\sin z\right)\left(\sin z-\frac{a}{4}z-\frac{b}{8}\right)dz, \end{aligned}\right.$$

nous observons cependant *que le champ angulaire d'intégration est très grand* et que le facteur $\omega^2$ devant l'un des termes $a$ ou $b$ nous oblige à retenir ces termes.

Dès lors, envisageons les coordonnées $x_1$ et $y_1$ de la projection du centre de gravité sur le plan transverse; celles-ci sont déterminées par les formules

$$(3)\qquad \left\{\begin{aligned} x_1&=R-\frac{RP}{\omega^2}J_1,\\ y_1&=\quad\frac{RP}{\omega^2}J_2. \end{aligned}\right.$$

Dès lors, *conformément à la précaution* à prendre pour le terme $\omega^2$ appa-

raissant dans $J_1$ ou $J_2$, nous obtenons d'abord

$$(3\ bis)\qquad \begin{cases} x_1 = R - \dfrac{RP}{\omega^2}\left(\omega - \sin\omega - \dfrac{b}{8}\omega^2\right), \\ y_1 = \dfrac{RP}{\omega^2}\left(1 - \cos\omega - \dfrac{a}{8}\omega^2\right), \end{cases}$$

formules dont les termes $\frac{b}{8}\omega^2$ et $\frac{a}{8}\omega^2$ avaient été omis par Caspari, puis finalement les formules

$$(4)\qquad \begin{cases} x_1 = \dfrac{R}{P}\sin\omega + \dfrac{Ru}{2P}(1 + \cos\omega), \\ y_1 = \dfrac{R}{P}(1 - \cos\omega) + \dfrac{Ru}{2P}\sin\omega. \end{cases}$$

III. Ces formules deviennent plus simples pour des doublets, mais supposons d'abord que le spiral étudié soit un spiral Le Roy, c'est-à-dire que $P = \left(2n \pm \frac{1}{2}\right)\pi$, $n$ désignant un nombre entier; si nous posons, en outre, $\varepsilon = \pm 1$, les formules (4) deviennent

$$(5)\qquad \begin{cases} x_1 = \dfrac{R}{P}\varepsilon\cos u + \dfrac{Ru}{2P}(1 - \varepsilon\sin u), \\ y_1 = \dfrac{R}{P}(1 + \varepsilon\sin u) + \dfrac{Ru}{2P}\varepsilon\cos u. \end{cases}$$

IV. Considérons un doublet sinusoïdal de deux spiraux Le Roy, le spiral associé ayant les axes $OX_2$ et $OY_2$, mais comptons $u$ positif dans le sens de l'enroulement de fermeture du premier spiral, nous aurons pour le second spiral à écrire les formules (5) après changement du signe de $u$, ce qui nous donne pour ce second spiral

$$(5\ bis)\qquad \begin{cases} x_2 = \dfrac{R}{P}\varepsilon\cos u - \dfrac{Ru}{2P}(1 + \varepsilon\sin u), \\ y_2 = \dfrac{R}{P}(1 - \varepsilon\sin u) - \dfrac{Ru}{2P}\varepsilon\cos u. \end{cases}$$

V. Si le doublet a ses viroles confondues, les axes $OX_1$ et $OX_2$ sont opposés et les axes $OY_1$ et $OY_2$ coïncident, en sorte que les coordonnées $\xi_1$ et $\eta_1$ *du centre de gravité du doublet*, rapportées aux axes du premier spiral, seront

$$(6)\qquad \begin{cases} \xi_1 = \dfrac{x_1 - x_2}{2} = \dfrac{Ru}{2P}, \\ \eta_1 = \dfrac{y_1 + y_2}{2} = \dfrac{R}{P}. \end{cases}$$

VI. Si le doublet a ses viroles opposées, les axes $OX_1$ et $OX_2$ sont confondus, mais les axes $OY_1$ et $OY_2$ sont opposés; et les coordonnées du centre de gravité du doublet toujours rapportées aux axes du premier spiral seront

$$(7)\quad \begin{cases} u_1 = \dfrac{x_1 + x_2}{2} = \dfrac{R}{P}\varepsilon\cos u - \dfrac{Ru}{2P}\varepsilon\sin u, \\ v_1 = \dfrac{y_1 - y_2}{2} = \dfrac{R}{P}\varepsilon\sin u + \dfrac{Ru}{2P}\varepsilon\cos u. \end{cases}$$

VII. La trajectoire rectiligne des formules (6) est parallèle au diamètre fixe des pitons; mais, des formules (7), on déduit une trajectoire *relative* parallèle au diamètre des viroles.

MÉCANIQUE. — *Horloge mécanique à échappement libre.* Note [1] de M. **Ch. Féry**, présentée par M. Bigourdan.

I. Il existe comme on sait, en horlogerie, deux grandes classes d'échappements :

1° Les échappements à repos frottants;

2° Les échappements libres.

Dans la première classe, la roue d'échappement est arrêtée entre le passage de chaque dent par l'échappement lui-même qui est muni de parties concentriques à son point d'oscillation, et nommées pour cette raison *repos frottants*. A cette classe appartiennent l'échappement à cylindre des montres, et l'échappement à ancre de Graham des pendules ordinaires ou astronomiques.

Dans la seconde classe, où la roue d'échappement est arrêtée par une pièce auxiliaire, indépendante du balancier, ce dernier ne se trouve en relation avec les rouages qu'au moment où il passe au point mort, là où il reçoit son impulsion, puis il termine librement son oscillation sans éprouver de frottements solides. On nomme pour cette raison ces systèmes : échappements libres. A cette classe appartient l'échappement à ancre des montres, et celui dit à détente qui est utilisé dans les chronomètres de marine.

Il est bien connu que les échappements libres donnent des résultats très supérieurs à ceux fournis par les échappements à repos frottants, et l'on peut

---

[1] Séance du 17 janvier 1921.

s'étonner de voir les horloges astronomiques figurer dans la classe des échappements les moins précis.

La raison en est qu'il est assez facile d'appliquer le principe des échappements libres aux balanciers circulaires comme ceux des montres ou des chronomètres, tandis que le pendule rectiligne des horloges s'y prête très mal et que les solutions indiquées jusqu'ici sont relativement compliquées.

Disons toutefois que de nombreuses solutions mécaniques de ce problème ont été données, et que les horloges directrices de l'Observatoire de Paris sont munies d'un échappement libre dû à Thomas Reed; elles n'échappent pas au reproche de la complication et de la délicatesse de l'échappement.

II. La présente Note a pour but de décrire une solution très simple de ce problème [1].

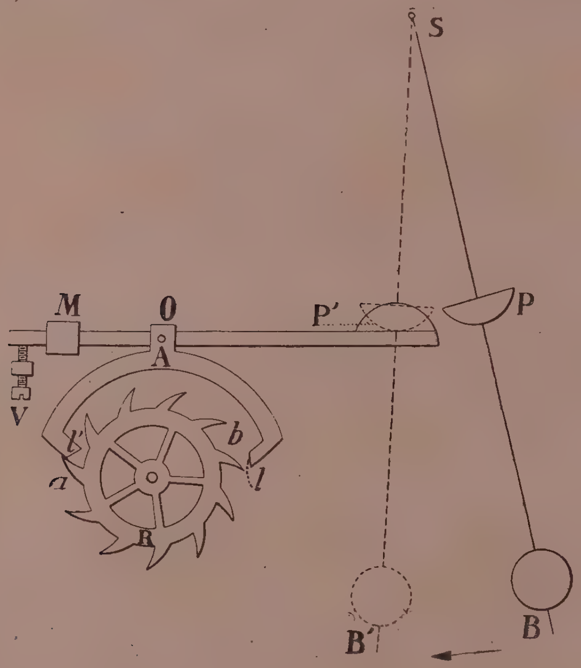


Fig. 1.

Considérons (*fig.* 1) la roue d'échappement B d'une horloge qui tend à tourner sous l'action du rouage et du poids moteur.

---

[1] Une pendulette à demi-secondes munie de ce nouvel échappement a été soumise au concours Pierret; elle y a obtenu le premier prix.

L'ancre A, pivotée en O, porte un levier muni d'un contrepoids M qui fait appuyer ce levier sur la vis V pendant les moments d'arrêt de la roue d'échappement.

L'autre extrémité de ce levier porte une pierre arrondie P′ ou un galet.

Le pendule porte aussi une pierre arrondie P qui, lors du passage par la verticale, viendra abaisser le levier.

Analysons de plus près ce qui se passe lorsque le pendule passe par la verticale :

Pendant que le pendule abaisse l'extrémité du levier, il se produit un certain travail qui consiste à soulever la masse M placée de l'autre côté du levier; de ce travail il faut retrancher néanmoins celui utile, produit par la réaction de l'incliné $l'$ qui reçoit la pression de la pointe de la dent $a$ de la roue d'échappement.

Lorsque, après le passage exact par la verticale, l'extrémité P′ du levier remonte sous l'action combinée de la masse M et de la dent $b$, qui réagit sur l'autre plan incliné $l$ de l'ancre, le pendule reçoit son impulsion.

Remarquons que le travail total ainsi communiqué au pendule est indépendant de la valeur de la masse M; il est égal à la somme des impulsions dues aux deux levées de l'ancre.

Comme dans tous les échappements libres, nous trouvons ici que le système oscillant est soumis à une action retardatrice tout d'abord, c'est ce que les horlogers appellent le dégagement, puis à une action accélératrice beaucoup plus grande appelée l'*impulsion*.

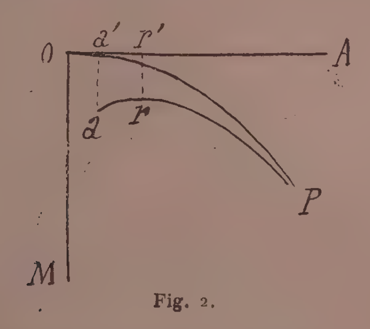



Fig. 2.

M. Lippmann a démontré autrefois que seule la restitution dans la verticale n'a aucune influence sur la marche du pendule (¹). L'analyse

(¹) *Sur l'entretien du mouvement pendulaire sans perturbation* (*Comptes rendus*, t. **127**, 1898, p. 15).

détaillée de la restitution dans l'échappement précédent montre que pour les petits arcs les effets font retarder le pendule.

Si OP représente les marches diurnes d'un pendule libre en fonction de l'amplitude OA, la courbe *ar*P représentera les marches du même pendule commandé par l'échappement précédent.

On voit facilement que la courbe *ar*P passant par un maximum au point *r* donnera, pour l'amplitude correspondant à ce point, un isochronisme bien meilleur que celui correspondant au pendule théorique.

J'avais proposé, dans une Note déjà ancienne, de donner à cette amplitude le nom d'*amplitude de réglage* (1).

ÉLECTRODYNAMIQUE. — *Énergie électromagnétique et potentiel thermodynamique d'un système de courants.* Note (2) de M. A. **Liénard**, présentée par M. L. Lecornu.

Soit un système de courants $i$ placés en présence de substances magnétiques. Un déplacement élémentaire des conducteurs des courants ou des corps magnétiques donne lieu à la production d'un travail $d\varpi$. En même temps les variations d'aimantation, qui accompagnent les modifications du champ, entraînent un certain dégagement de chaleur $d$Q. Le principe de la conservation de l'énergie, joint à la loi fondamentale de l'induction, permet d'établir facilement entre $d\varpi$, $d$Q, l'énergie interne U et les flux $\Phi$, $\Phi'$ à travers les divers circuits conducteurs, la relation

$$d\varpi + dQ + dU = \Sigma i\, d\Phi. \tag{1}$$

La relation (1) est employée notamment en Électrotechnique pour évaluer le travail des machines dynamos en négligeant ou calculant approximativement le terme $d$Q.

Je me propose de tenir compte exactement de ce terme, mais en me bornant au cas de corps magnétiques dénués d'hystérésis. Dans ces conditions, les phénomènes sont réversibles, $d$Q est de la forme $-\Sigma T\, dS$, T étant la température absolue et S l'entropie d'une région (finie ou infiniment petite) où la température est uniforme. L'équation (1) devient

$$d\varpi - \Sigma T\, dS + dU = \Sigma i\, d\Phi. \tag{2}$$

(1) *Comptes rendus*, t. 140, 1905, p. 106.
(2) Séance du 17 janvier 1921.

On peut l'écrire identiquement

$$d(\mathrm{U} - \Sigma \mathrm{TS} - \Sigma i\Phi) + d\mathfrak{T} + \Sigma \mathrm{S}\, d\mathrm{T} + \Sigma \Phi\, di = 0,$$

ou encore

(3) $$d\mathfrak{T} + \Sigma \mathrm{S}\, d\mathrm{T} + \Sigma \Phi\, di = - d\mathrm{H},$$

en posant

(4) $$\mathrm{H} = \mathrm{U} - \Sigma \mathrm{TS} - \Sigma i\Phi.$$

Les relations (3) et (4) montrent que la différentielle totale

$$d\mathfrak{T} + \Sigma \mathrm{S}\, d\mathrm{T} + \Sigma \Phi\, di$$

est une différentielle exacte. Supposons les variables normales, au sens donné au mot normal en thermodynamique. Alors $d\mathfrak{T}$ ne peut dépendre des $d\mathrm{T}$ et $di$, car de simples variations de températures ou d'intensités de courants n'entraînent aucun déplacement. $d\mathfrak{T}$ ne peut contenir que des différentielles des variables $x$, $y$, ..., autres que les $d\mathrm{T}$ et $di$ qui fixent la forme et la position du système.

Par suite, l'équation (3) donne, par identification des deux membres,

(5) $$d\mathfrak{T} = - d_{\mathrm{T},i}\mathrm{H},$$

(6) $$\mathrm{S} = - \frac{\partial \mathrm{H}}{\partial \mathrm{T}},$$

(7) $$\Phi = - \frac{\partial \mathrm{H}}{\partial i}, \qquad \Phi' = - \frac{\partial \mathrm{H}}{\partial i'}, \qquad \ldots.$$

Suivant l'usage, le symbole $d_{\mathrm{T},i}$ représente une différentiation effectuée à T et $i$ constants.

Les équations (5) et (6) montrent que la fonction H joue le rôle d'un potentiel thermodynamique. Mais, tandis que, dans les cas habituels, le potentiel thermodynamique se réduit à $\mathrm{U} - \mathrm{TS}$, on a ici d'après (4) l'expression plus compliquée $\mathrm{H} = \mathrm{U} - \Sigma \mathrm{TS} - \Sigma i\Phi$.

Les équations (7) permettent de calculer la valeur de H. Ces équations montrent d'abord que les fonctions $\Phi$, $\Phi'$, $\Phi''$, ... satisfont nécessairement à des équations de condition telles que

(8) $$\frac{\partial \Phi}{\partial i'} = \frac{\partial \Phi'}{\partial i}.$$

Ces équations se réduisent à celles qui expriment la loi de réciprocité des coefficients d'induction mutuelle dans le cas où les corps magnétiques sont à perméabilité constante.

L'intégration des équations (7) donne

$$(9)\qquad H = -\int_{0,0,\ldots}^{i,i',\ldots} (\Phi\, di + \Phi'\, di' + \ldots) + F(T, x, y, \ldots).$$

L'intégration indiquée par rapport aux $i$, $i'$, ... est prise en laissant les $T$, $x$, $y$, ... constants.

$F(T, x, y, \ldots)$ représente évidemment la valeur du potentiel thermodynamique pour le même système supposé sans courant, car les équations (4) et (9) se réduisent, pour $i = i' = \ldots = 0$, à

$$H = U - \Sigma TS = F(T, x, y, \ldots).$$

Comme nous ne nous préoccupons que des phénomènes d'origine électromagnétique, nous pouvons laisser le terme $F(T, x, \ldots)$ de côté et prendre simplement

$$(10)\qquad H = -\int_{0,0,\ldots}^{i,i',\ldots} (\Phi\, di + \Phi'\, di' + \ldots).$$

H étant ainsi déterminé, les équations (5) et (6) donnent le travail et l'entropie, tandis que l'équation (4) permet d'évaluer U; on trouve

$$U = H + TS + \Sigma i\Phi$$

ou, en tenant compte de (6) et (7),

$$(11)\qquad U = H - T\frac{\partial H}{\partial T} - \Sigma i \frac{\partial H}{\partial i}.$$

Pour $i = 0$, on retombe sur la relation connue

$$U = H - T\frac{\partial H}{\partial T}.$$

ÉLECTRICITÉ. — *Sur une nouvelle propriété de corps faiblement conducteurs de l'électricité.* Note de M. **G. Reboul**, présentée par M. Lippmann.

J'ai indiqué précédemment [1] les conditions dans lesquelles des corps faiblement conducteurs, traversés par un courant, impressionnaient une plaque photographique; je ne me suis point occupé alors de la cause produisant l'impression.

---

[1] *Comptes rendus*, t. **171**, 1920, p. 1052.

Pour expliquer l'action produite sur la plaque, deux hypothèses se présentent naturellement à l'esprit :

*a*. Le passage du courant produit une électrolyse de l'eau ou des sels que contiennent les feuilles de papier ou les conducteurs employés ; les gaz dégagés impressionnent la plaque photographique par simple contact avec les sels d'argent de la couche sensible.

*b*. Il se produit des aigrettes ou des étincelles (analogues à celles du carreau étincelant) et la plaque photographique est impressionnée.

I. La première hypothèse paraît tout d'abord justifiée par l'augmentation de l'effet que l'on constate quand on emploie des feuilles de papier humidifiées. Mais elle se heurte aux objections suivantes :

1. Il faut admettre que le dégagement des produits de l'électrolyse ne se fait pas seulement aux électrodes, mais aussi dans toute la masse de l'électrolyte ; ceci admis, on s'explique cependant mal que ce dégagement soit plus intense aux coupures ou aux incisions superficielles présentées par la feuille ou le conducteur.

2. Le phénomène se produit à distance (il est vrai très faible, $1^{mm}$ ou $2^{mm}$) et permet d'obtenir l'ombre portée d'obstacles placés entre la feuille impressionnante et la plaque photographique.

3. L'impression se produit encore, mais beaucoup moins forte, lorsque, au lieu de feuilles de papier, on prend, après les avoir rayées, des lames de celluloïd, de fibre de bois, de verre, de mica ou de quartz, substances pour lesquelles on voit moins bien quelle électrolyse et quel dégagement gazeux pourraient se produire.

4. Enfin il y a, dans le voisinage des électrodes, une impression d'apparence particulière lorsque l'*on place entre la plaque et la feuille impressionnante une lame de quartz ou de fluorine suffisamment mince;* l'épaisseur des lames interposées et l'aspect de l'impression ne permettent pas de supposer que les gaz émis ont pu atteindre la plaque et produire cette impression.

L'action des gaz produits est donc insuffisante pour expliquer l'effet : ceci ne veut pas dire que les gaz émis sont sans action sur la plaque, on constate souvent que les parties de la plaque, non recouvertes par la feuille et dans son voisinage, sont impressionnées, cette dernière impression peut être due à une simple action de contact des gaz produits.

II. L'impression photographique présente une dissymétrie; comme dans le cas de l'aigrette lumineuse, l'action est plus vive du côté du pôle positif. Cependant si l'on donne au mot *aigrette* son sens habituel, notre deuxième hypothèse est également à rejeter :

1. Parce que l'effet commence à se manifester pour une différence de potentiel de 160 volts, il est net pour 240 volts et très net pour 320 volts (dans le cas de feuilles de papier et pour une distance des électrodes de $4^{cm}$). Ces voltages ne sont point ceux pour lesquels l'aigrette se manifeste ordinairement; il est d'ailleurs probable que l'effet se produirait encore pour des voltages plus faibles, si l'on prenait des plaques plus sensibles ou des poses plus longues.

2. L'œil, même reposé par une longue présence à l'obscurité n'*aperçoit rien* sur la feuille de papier ou sur le conducteur que le courant traverse.

Il ne semble pas non plus y avoir production ou augmentation de luminosité quand on place sur la feuille une substance fluorescente ou phosphorescente.

Toutefois, si la conductibilité des corps employés est trop grande ou si l'on prend des voltages trop forts, de petites étincelles se produisent aux points de contact du conducteur et des électrodes.

3. Dans les conditions ordinaires, il ne se produit pas d'impression si l'on interpose entre la plaque photographique et la feuille active une lame de mica ou de quartz suffisamment épaisse, une lame de quartz de $3^{mm}$ ou une lame de mica de $\frac{1}{10}$ de millimètre ne laissent passer aucune impression. Il est facile de s'assurer que l'aigrette visible impressionnerait dans tous ces cas.

4. Quand on examine à l'électromètre la conductibilité du milieu gazeux environnant, on trouve qu'il y a une ionisation dont les caractères sont *nettement distincts* de ceux de la conductibilité produite par l'aigrette. Les caractères de cette ionisation permettent d'ailleurs de déduire des renseignements intéressants sur la nature de l'effet que nous étudions.

III. Parmi les représentations mécaniques possibles du phénomène, il en est une qui se rapproche de la deuxième hypothèse et, en la complétant, rend sans valeur les objections qui précèdent : Tout se passe comme s'il y avait, aux points où sont les discontinuités de résistance, des chutes de potentiel suffisantes pour produire des décharges disruptives soit dans le conducteur lui-même, soit dans le milieu environnant. Les décharges ainsi produites seraient accompagnées de l'émission d'un rayonnement *très absorbable*, dont il est possible de préciser les caractères, et qui, comme les radiations ultraviolettes et les rayons X, agirait sur la plaque photographique, mais n'impressionnerait pas l'œil.

ACOUSTIQUE. — *Sur la propagation du son du canon à grande distance : Périodicité annuelle.* Note de M. **Maurice Collignon**, présentée par M. Bigourdan.

J'ai montré dans une Note antérieure ([1]) que le son du canon du front s'était entendu à Louviers (Eure), presque uniquement du commencement de mai au commencement de septembre, pendant la période du 23 juin 1915 au 16 mai 1917. La fin des observations, du 17 mai 1917 au 10 novembre 1918, montrera que la loi de la périodicité annuelle s'est vérifiée jusqu'à la fin de la guerre.

Une difficulté s'est présentée dans l'évaluation de N et I, les 18 juin, 15 et 18 juillet 1918, les détonations se confondant en un roulement continu. Pour calculer N, nombre des détonations par minute, et I, total des intensités par minute, j'ai utilisé une modalité très générale de l'audition, modalité qui consiste dans le rapport existant entre les auditions en différents points d'observation.

Une résonance ayant sa *périodicité particulière* a influé aussi sur l'évaluation de N. Des groupes de détonations, de l'ordre 4 par seconde, paraissaient provenir de détonations uniques, chaque groupe étant formé de plusieurs *sons composants* à intensité souvent décroissante; dans ce cas, j'ai compté une détonation pour 2, 3, ..., 5, ..., 10, ..., 20 sons composants. J'ai distingué chaque détonation composée, en 1916 et 1917, d'après l'oreille, en 1918, d'après l'oreille et le calcul des probabilités.

*Abréviations du Tableau suivant* (voir t. 167, p. 333).

J, nombre des jours d'observation, groupés suivant certaines similitudes.
M, nombre de minutes d'observation.

N, nombre de coups par minute
I, total des intensités par minute
} 1° minimum-minute, 2° maximum-minute, 3° moyenne-minute.

*Vents.* Direction : le quadrant NE ou q. NE comprend les vents de N inclus à E exclu ; q. ES : vents de E inclus à S exclu, etc. — Force : nombres entre parenthèses ( ).

---

([1]) *Comptes rendus*, t. 167, 1918, p. 333.

| | | | Min. | | Max. | | Moy. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | J. | M. | N. | I. | N. | I. | N. | I. | Vents et remarques. |
| 1917. | | | | | | | | | |
| 17-31 mai .......... | 15 | 502 | 0 | 0 | 133 | 230 | 17,8 | 26,8 | q.NE(2-5)-q.ES(1-5)-q.SW(1-2)-q.WN(1-7) |
| 1- 3 juin.......... | 3 | 48 | 4 | 5 | 115 | 373 | 54 | 145 | S(1)-SW(1)-SSW(2)-S(3)-WSW(2)-SSW(2) |
| 4- 6 » .......... | 3 | 110 | 0 | 0 | 84 | 198 | 21 | 49 | S(1-3)-SSE(1-2)-S$\frac{1}{4}$SE(1) |
| 7- 8 » .......... | 2 | 63 | 0 | 0 | 250 | 1.000 | 82 | 197 | S(1)-SW(2-1)-N-S(1) |
| 9-19 » .......... | 11 | 461 | 0 | 0 | 250 | 1.200 | 36 | 96 | q.NE(2)-q.ES(1-3)-q.SW(1-4)-q.WN(2) |
| 20-29 » .......... | 10 | 299 | 4 | 6 | 140 | 600 | 59 | 176 | q.SW(1-7)-q.WN(1-6) |
| 30 juin-6 juillet..... | 7 | 344 | 0 | 0 | 128 | 320 | 29 | 61 | q.NE(1-7)-q.SW(1-2)-q.WN(3) |
| 7 juillet........ | 1 | 77 | 2 | 3 | 200 | 1.200 | 46 | 123 | S(1)-SE(1) |
| 8 » ........ | 1 | 56 | 0 | 0 | 250 | 1.600 | 89 | 414 | WSW(6-5-3) |
| 9-14 » ........ | 6 | 190 | 0 | 0 | 200 | 1.000 | 58 | 158 | W(3)-WNW(2)-WSW(2)-SW(1-3) |
| 15-28 » ........ | 13 | 439 | 3 | 1 | 270 | 1.490 | 74 | 193 | q.NE(2)-q.ES(2)-q.SW(2-6)-q.WN(1-5) |
| 29-31 » ........ | 3 | 224 | 0 | 0 | 201 | 448 | 92 | 201 | SSW(1-4)-N(1-5)-WSW(3)-N$\frac{1}{4}$NE(5) |
| 1-10 août.......... | 10 | 394 | 0 | 0 | 197 | 600 | 58 | 136 | q.NE(1)-q.ES(1)-q.SW(2-5)-q.WN(1-6) |
| 11-16 » .......... | 6 | 205 | 6 | 13 | 197 | 521 | 64 | 161 | SW(3-7)-S(1-3)-W(2-3) |
| 17-26 » .......... | 10 | 517 | 0 | 0 | 183 | 478 | 27 | 48 | q.SW(1-5)-q.WN(1-4) |
| 27 » .......... | 1 | 67 | 0 | 0 | 52 | 63 | 3,8 | 3,7 | violente tempête SW(7-9) |
| 28 août-4 septembre. | 8 | 363 | 0 | 0 | 131 | 446 | 17 | 29 | q.SW(1-7)-q.WN(1-4) |
| 5-6 septembre ..... | 2 | 62 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | SW(1)-S(2)-N(2) |
| 7-8 » ..... | 2 | 47 | 0 | 0 | 0,7 | 0,3 | 0,12 | 0,07 | ENE(3)-WNW(2)-WSW(1) |
| 9 sept.-31 déc...... | 95 | 802 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 1918. | | | | | | | | | |
| 4-11 janvier........ | 3 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | q.NE(4)-q.ES-q.SW-q.WN(1-5) |
| 12 » ........ | 1 | 6 | 8 | 7 | 29 | 22 | 23 | 18 | S(3) neige |
| 13-31 » ........ | 14 | 91 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | q.SW(1-8)-q.WN(3) |
| 1-7 février........ | 5 | 46 | 0 | 0 | 108 | 121 | 32 | 30 | WSW(1-6)-SW |
| 8 février-21 mars... | 23 | 190 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | q.NE(1-4)-q.ES(6)-q.SW(1-6)-q.WN(1-6) |
| 22-26 mars .......... | 5 | 90 | 0 | 0 | 13 | 2,4 | 2 | 0,4 | NNW(1-3)-q.NE |
| 27 mars-9 avril ..... | 12 | 187 | 0 | 0 | 2 | 0,6 | 0,01 | 0,05 | q.NE(1-3)-q.ES(2-5)-q.SW(3-7)-q.WN(2-6) |
| 10-11 avril.......... | 2 | 40 | 0 | 0 | 65 | 61 | 12 | 6 | NNW(1)-N(1)-SE(2) |
| 12-24 » .......... | 12 | 159 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | q.NE(1-6)-q.ES(1)-q.SW(2)-q.WN(2-6) |
| 25-30 » .......... | 5 | 102 | 0 | 0 | 62 | 57 | 2,4 | 2,6 | W(2)-NE(2)-NNW(2-4) |
| 1- 7 mai .......... | 7 | 168 | 0 | 0 | 68 | 139 | 13,2 | 9,8 | NE-SE(1-2)-SW(1)-S(1)-NW(2) |
| 8- 9 » .......... | 2 | 67 | 0 | 0 | 115 | 323 | 40 | 81 | SE(1-2)-N(1-2)-W(1) |
| 10-11 » .......... | 2 | 72 | 0 | 0 | 8 | 5 | 0,52 | 0,17 | N(1)-NE(1-2)-SW(1-2) |
| 12-17 » .......... | 6 | 297 | 0 | 0 | 173 | 140 | 14,3 | 14,6 | q.ES(1-3)-q.SW(1-5)-q.WN(1-2) |
| 18-21 » .......... | 4 | 210 | 0 | 0 | 54 | 66 | 2,9 | 2,8 | SSW(1)-SE(1)-E(1)-ENE(1)-NE(1) |
| 22 mai-7 juin ........ | 17 | 654 | 0 | 0 | 170 | 190 | 24 | 29 | q.NE(1-3)-q.ES(1-2)-q.SW(1)-q.WN(1-6) |
| 8-18 juin.......... | 11 | 547 | 0 | 0 | 500 | 2.500 | 48 | 106 | q.NE(1-6)-q.SW(1-5)-q.WN(1-6) |
| 19-24 » .......... | 6 | 304 | 0 | 0 | 99 | 190 | 14 | 25 | q.NE(4)-q.SW(4)-q.WN(1-6) |
| 25-28 » .......... | 4 | 220 | 0 | 0 | 168 | 474 | 42 | 63 | q.NE(3)-q.SW(2-5)-q.WN(1-3) |
| 29 juin-7 juillet..... | 9 | 511 | 0 | 0 | 146 | 412 | 21 | 27 | q.NE(1-3)-q.EN(3)-q.SW(2)-q.WN(1-2) |
| 8-11 juillet ........ | 4 | 239 | 2 | 1 | 192 | 338 | 64 | 106 | W(1-6)-SW(1-7)-WSW(2) |
| 12-13 » ........ | 2 | 138 | 0 | 0 | 132 | 400 | 53 | 106 | WSW(1-4)-SW(6)-W(1-3)-W$\frac{1}{4}$SW(3) |
| 14 » ........ | 1 | 162 | 0 | 0 | 1.200 | 8.000 | 151 | 625 | SSW(1-6)-W$\frac{1}{4}$SW(1-6) |
| 15 » ........ | 1 | 63 | 35 | 83 | 1.200 | 8.000 | 408 | 1.959 | SW(1-4) |

| | | | Min. | | Max. | | Moy. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | J. | M. | N. | I. | N. | I. | N. | I. | Vents et remarques. |
| 1918. | | | | | | | | | |
| 7 juillet ........ | 2 | 230 | 0 | 0 | 168 | 424 | 82 | 154 | SW(3-4)-SSW(3-7)-$S\frac{1}{4}SW$(3) |
| » ........ | 2 | 88 | 31 | 60 | 400 | 800 | 138 | 287 | S(2)-WSW(2-5)-SW(3-4) |
| » ........ | 1 | 107 | 0 | 0 | 200 | 512 | 90 | 155 | WSW(1)-S(5)-SSW(3-4) |
| 6 » ........ | 6 | 360 | 2 | 0,4 | 216 | 291 | 91 | 108 | q. SW(2-7)-q. WN(2-7) |
| » ........ | 5 | 368 | 0 | 0 | 227 | 307 | 32 | 42 | NW(1-6)-NNW(1-5)-E(1) |
| 5 août.......... | 5 | 387 | 0 | 0 | 154 | 261 | 52 | 95 | N(1)-W(1-4)-WNW(1)-q. SW(1-5) |
| » .......... | 4 | 334 | 0 | 0 | 200 | 400 | 52 | 77 | NW(1-5)-SSW(3)-W(1-3)-WNW(3) |
| 5 » .......... | 6 | 365 | 0 | 0 | 168 | 145 | 8,7 | 12 | q. NE(2)-q. ES(2-3)-q. SW(1-2)-q. WN(1-4) |
| » .......... | 6 | 291 | 0 | 0 | 126 | 189 | 15,7 | 16 | W(1-6)-WNW(4)-NNW(2-3)-WSW(1) |
| » .......... | 1 | 56 | 0 | 0 | 101 | 251 | 31 | 46 | SW(1-2)-grande chaleur 35° |
| » .......... | 7 | 354 | 0 | 0 | 136 | 165 | 4,2 | 3,8 | q. NE(2)-q. ES(2)-q. SW(2-3)-q. WN(2-6) |
| » .......... | 1 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $N\frac{1}{4}NW$(4)-NW(3)-N(1) |
| oût-13 sept...... | 14 | 738 | 0 | 0 | 158 | 250 | 9,6 | 7,8 | q. SW(2-6)-q. WN(1-6) |
| 6 septembre.... | 3 | 142 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | S(2-4)-SW(1)-W(2-3)-WNW |
| » .... | 5 | 189 | 0 | 0 | 16 | 5 | 0,3 | 0,08 | SW(2-3)-WSW(3)-S(2)-SSW |
| pt.-8 octobre... | 17 | 489 | 0 | 0 | 45 | 20 | 0,54 | 0,16 | q. SW(2-6)-q. WN(1-6) |
| ctobre-10 nov... | 32 | 1.160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | q. NE(1-4)-q. ES(1-5)-q. SW(1-6)-q. WN(1-4) |

CHIMIE MINÉRALE. — *Systématique et constitution des dérivés de l'acide molybdique.* Note ([1]) de M. L. **Forsén**, présentée par M. Haller.

On peut faire dériver tous les molybdates connus de deux acides formulables comme suit :

| | |
|---|---|
| Acide molybdique.................. | $Mo^3O^{12}H^6$ |
| Acide métamolybdique.... ........ | $Mo^{12}O^{12}H^{12}$ |

Ce n'est qu'en attribuant à l'acide molybdique la formule triple : $Mo^3O^{12}H^6 (= 3MoO^4H^2)$, que l'on peut rendre compte de l'existence des divers molybdates :

| | | |
|---|---|---|
| $Mo^3O^{12}MH^5$ | représente | les hexamolybdates |
| $Mo^3O^{12}M^2H^4$ | » | les trimolybdates |
| $Mo^3O^{12}M^3H^3$ | » | les dimolybdates |
| $Mo^3O^{12}M^4H^2$ | » | les sesquimolybdates |
| $Mo^3O^{12}M^5H^1$ | » | des sels non désignés particulièrement |
| $Mo^3O^{12}M^6$ | » | les orthomolybdates |

([1]) Séance du 17 janvier 1921.

Les atomes d'hydrogène mis en évidence dans ces formules ont des fonctions acides. En effet, les orthomolybdates sont neutres à la phtaléine du phénol. Les autres molybdates précédemment mentionnés sont acides. Le terme de leur titrage avec cet indicateur marque la formation d'orthomolybdate. Un certain nombre de molybdates acides perdent facilement plus d'eau que les constitutions précédentes le feraient prévoir, et ils se transforment en anhydrides. C'est ainsi que le résidu de la dessiccation à l'air sec et à la température ordinaire de la plupart des trimolybdates répond à la formule $Mo^3O^{11}M^2H^2$. Le trimolybdate de potassium ordinaire desséché devient complètement anhydre $Mo^3O^{10}K^2$. Le sesquimolybdate de lithium $Mo^3O^{11}Li^4$ cristallise anhydre de sa solution acide. Mais en solution ces divers sels correspondent aux types formulés au début de cet article.

Il paraît exister des molybdates de rubidium et de potassium du type $Mo^3O^{12}M^5H$ qui n'ont pas reçu de noms particuliers.

Les sels que l'on désigne du nom de paramolybdates n'ont pas de composition définie. Les différents auteurs donnent des formules avec des proportions telles que $M^4 : Mo^5$, $M^5 : Mo^6$, $M^6 : Mo^7$, $M^8 : Mo^9$. Les paramolybdates paraissent être des cristaux mixtes de dimolybdates $Mo^3O^{12}M^3H^3$ et de trimolybdates $Mo^3O^{12}M^2H^4$.

C'est ainsi que les corps désignés du nom de paramolybdates de sodium sont des cristaux mixtes de deux espèces au même degré d'hydratation :

| | |
|---|---|
| Dimolybdate............ | $Mo^3O^{12}Na^3H^3 + 8H^2O$ |
| Trimolybdate............ | $Mo^3O^{12}Na^2H^4 + 8H^2O$ |

C'est seulement pour des proportions bien déterminées entre $MoO^3$ et $NaOH$ que l'on peut obtenir (d'après Rosenheim) le paramolybdate de sodium correspondant à la formule $Mo^6O^{24}Na^5H^7 + 16H^2O$ avec les rapports atomiques $Mo^6 : Na^5$ préconisés dans ces dernières années.

L'ensemble des faits conduit à donner à l'acide molybdique : 1° une formule triple, 2° une représentation cyclique

```
      O  OH OH
       \\ | /
        Mo — O         O
      /        \     //
    O            Mo —OH
      \        /     \
        Mo — O         OH
       // | \
      O  OH OH
```

Pour expliquer la formation des anhydrides, j'ai été conduit à admettre les quatre représentations spatiales suivantes :

3 trans. 2 trans, 1 cis. 1 trans, 2 cis. 3 cis.

La formation facile des anhydrides internes correspond seulement aux portions cis. Je citerai, à titre d'illustration, la formation des composés $Mo^3O^{11}Li^4$, $Mo^3O^{11}(NH^4)^2H^2$ et la préparation d'un nouvel anhydride molybdique $Mo^3O^{11}H^4$ que j'ai obtenu bien cristallisé. Ces formules m'ont ensuite suggéré la possibilité d'isomères. On en connaît effectivement quelques-uns.

Ainsi l'acide molybdique blanc $Mo^3O^{12}H^6$ (auquel on attribue généralement la formule $MoO^4H^2$) est connu sous deux formes qui se distinguent par leur inégale aptitude à perdre de l'eau (Rosenheim).

J'ai reconnu qu'il existait deux trimolybdates de potassium de composition

$$Mo^3O^{10}K^2 + 3H^2O.$$

Ces sels se distinguent par la façon dont ils se déshydratent à la température ordinaire dans une atmosphère sèche. Alors que l'un perd rapidement la totalité de son eau, l'autre en perd lentement les deux tiers seulement.

Les trimolybdates de sodium $Mo^3O^{10}Na^2$, aq. plus ou moins hydratés, qui ont été successivement décrits, sont si différents entre eux qu'on ne saurait attribuer les différences aux degrés d'hydratation, mais à des différences plus profondes de constitution.

D'une façon générale, la formule proposée plus haut permet de prévoir des isomères de position, cis et trans, et des isomères optiques.

Il est probable que l'augmentation énorme du pouvoir rotatoire de certains acides organiques, lorsque ceux-ci se combinent avec des composés de l'acide molybdique (Gernez), est liée à l'existence des isomères optiques que suppose la théorie précédente.

CHIMIE GÉNÉRALE. — *Sur la concentration isothermique d'une solution préparée à partir de deux sels à ions différents.* Note (¹) de M. **Étienne Rengade**, présentée par M. Henry Le Chatelier.

Supposons qu'on évapore à température constante ($t > 25°$) une solution de $\alpha$ molécules de $NO^3Am$ et $\beta$ de NaCl. Il se produit l'équilibre

$$\underset{p}{NO^3Am} + \underset{q}{NaCl} \rightleftharpoons \underset{r}{NO^3Na} + \underset{s}{AmCl},$$

les concentrations $p$, $q$, $r$, $s$ étant reliées par la loi d'action de masse

$$pq = rs.$$

Durant la concentration, il arrivera qu'un ou plusieurs des sels cristallisent ; appelons $\varpi$, $\chi$, $\rho$, $\sigma$ les masses déposées, et $x$ l'inverse du volume de la solution. En exprimant que la somme de chaque espèce d'ions en présence est égale, soit à $\alpha$, soit à $\beta$, on obtient quatre équations (dont trois seulement sont distinctes) reliant entre elles $x$, $p$, $q$, $r$, $s$ et éventuellement $\varpi$, $\chi$, $\rho$, $\sigma$. D'ailleurs, dès qu'une de ces quatre dernières variables apparaît, la valeur correspondante de $p$, $q$, $r$ ou $s$ devient déterminée et égale au coefficient de solubilité du sel, P, Q, R ou S. Il y a donc cinq variables liées par quatre équations, de sorte que la seule variable indépendante est $x$ et que les autres peuvent s'exprimer en fonction de $x$ et des constantes $\alpha$, $\beta$, P, Q, R, S.

Ne pouvant développer ici les calculs, nous donnerons simplement la représentation géométrique des résultats, en portant $x$ en abscisses, et en ordonnées dans le sens positif $Oy$, les concentrations $p$, $q$, $r$, $s$, et dans le sens négatif $Oy'$ les valeurs de $\varpi$, $\chi$, $\rho$, $\sigma$. Nous ferons varier $x$ de zéro (dilution infinie) à l'infini (évaporation à sec).

Supposons d'abord $\alpha < \beta$. Au début de la concentration, les quatre sels sont intégralement dissous, les valeurs de $p$, $q$ et $r = s$ sont représentées par trois droites issues de l'origine (*fig.* 1).

L'apparition du premier précipité correspond à la première rencontre de l'une de ces trois droites avec la parallèle à $Ox$ représentant la saturation correspondante. NaCl étant ici le moins soluble des quatre sels, et $q$ la plus inclinée des trois droites, le point G sera le premier point de rencontre

(¹) Séance du 3 janvier 1921.

et les premiers cristaux seront formés de NaCl, ce que l'expérience vérifie. A partir de ce moment, les points $p$ et $r = s$ décrivent deux arcs de paraboles EH, FI, le point $q$ la droite GQ et le point $\chi$ un arc de cubique. L'apparition du dépôt salin a donc produit une discontinuité; nous dirons qu'une deuxième étape de concentration a succédé à la première.

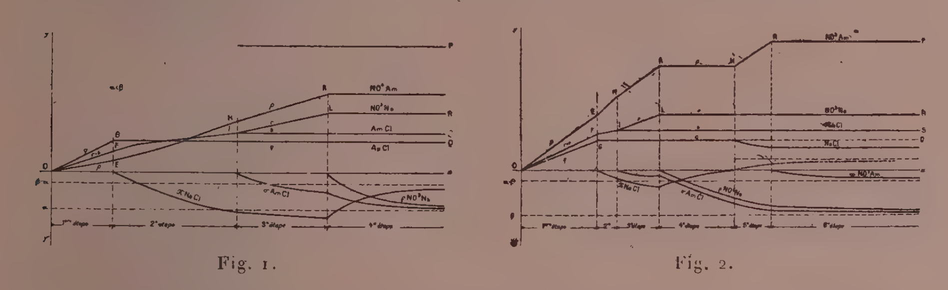


Fig. 1. Fig. 2.

La cristallisation de AmCl amène une troisième étape, durant laquelle les poids $\sigma$ et $\chi$ augmentent dans le précipité; $q$ et $s$ sont constants, $p$ et $r$ décrivent de nouveau deux droites issues de l'origine. Enfin $NO^3Na$ cristallise à son tour (quatrième étape); la masse de ce sel dans le précipité tend asymptotiquement vers $\alpha$ suivant un arc d'hyberbole; il en est de même de $\sigma$, tandis que $\chi$ tend vers $\beta - \alpha$. *Il y a donc redissolution graduelle du* NaCl. Quant à la solution, elle prend une composition constante, $q = Q$, $r = R, s = S, p = \sqrt{\frac{RS}{Q}}$. Au point sec, on trouve $\alpha$ molécules de $NO^3Na$, $\alpha$ de AmCl, et $\beta - \alpha$ de NaCl.

Si l'on suppose $\alpha > \beta$, mais très voisin de $\beta$ (nous ne pouvons, faute de place, discuter les valeurs plus grandes de $\alpha$), le premier sel à cristalliser sera encore NaCl (*fig.* 2), et il n'y aura rien de changé jusqu'à la quatrième étape; mais celle-ci ne pourra plus se prolonger jusqu'à sec, puisque $\beta - \alpha$ est $< 0$. Une cinquième étape commencera au moment où NaCl sera complètement redissous, et la composition du liquide redeviendra variable, $q$ diminuant et $p$ croissant jusqu'à ce qu'on atteigne la saturation P en $NO^3Am$. Ce sel cristallise alors à son tour, et son poids $\varpi$ dans le précipité augmente durant la sixième étape ainsi engendrée, en tendant vers $\alpha - \beta$, tandis que $\rho$ et $\sigma$ tendent chacun vers $\beta$. La concentration de la solution est redevenue constante, avec la composition P, $\frac{RS}{P}$, R et S.

Inversement, les diagrammes lus de droite à gauche expliquent immédiatement la dissolution progressive, dans une quantité d'eau croissante, d'un mélange de NaCl et $NO^3Am$.

On étudierait de façon semblable l'évaporation d'une solution faite à partir des α et β molécules de deux sels quelconques à ions différents. On trouve onze cas possibles, formant deux groupes suivant le résultat de l'évaporation à sec : ou bien celui-ci reproduit les α et β molécules des sels générateurs, ou bien il donne β molécules de chacun des sels conjugués avec $\alpha - \beta$ molécules du sel générateur en excès ($\alpha > \beta$). Dans le premier groupe, l'évaporation se termine en trois étapes si les deux premiers sels à cristalliser sont les deux sels générateurs; le couple générateur est alors « stable » au sens absolu, les sels conjugués n'apparaissant pas; si c'est un des sels conjugués qui apparaît durant la deuxième ou la troisième étape, l'évaporation complète exige une quatrième étape, le sel conjugué disparaissant au point sec pour reparaître sous l'action d'une trace d'eau (couple à stabilité limite). Dans le deuxième groupe, à couple générateur instable, on observe soit quatre étapes, soit six quand le premier des sels générateurs qui cristallise est celui qui a été introduit en plus faible proportion.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur la 6-méthylisatine.*
Note de M^lle **J. Bonnefoy** et de M. **Jh. Martinet**, présentée par M. A. Haller.

La 6-méthylisatine a été préparée par W. Findeklee [1] qui en a fixé la constitution. Mais ce corps n'a été obtenu que péniblement et en très petite quantité. A partir de la métatoluidine on peut *a priori* obtenir, soit la 4-méthylisatine, soit la 6-méthylisatine.

En fait, nous avons effectué la transformation de la métatoluidine en méthylisatine par deux méthodes différentes et nous sommes arrivés dans les deux cas à la 6-méthylisatine de Findeklee.

La métatoluidine se condense avec les éthers mésoxaliques au sein de l'acide acétique, à l'ébullition. Nous avons ainsi isolé à partir du mésoxalate de méthyle : le 6-méthyldioxindol-3-carbonate de méthyle (F. 248°-250°). et, à partir du mésoxalate d'éthyle, le 6-méthyldioxindol-3-carbonate d'éthyle (F. 186°).

Par saponification à l'air, ces éthers se décarboxylent, le dioxindol formé s'oxyde, la solution se colore en brun, puis, par agitation à l'air, prend la teinte jaune caractéristique d'un isatate alcalin. De cette solution les acides minéraux précipitent l'isatine libre.

---

(1) W. Findeklee, *Ber.*, t. 38, p. 3542.

Ce procédé utilise donc comme intermédiaire la formation des éthers dioxindolcarboniques, dans celui qui suit on emploie la formation de la dimétatolylthiourée.

Celle-ci se prépare commodément par l'action du sulfure de carbone sur la métatoluidine en présence d'eau oxygénée. Cette diméthyl-3.3'-thiourée déjà connue [1] est traitée au bain-marie par le cyanure de potassium et le carbonate de plomb en milieu hydro-alcoolique. On obtient ainsi avec facilité l'hydrocyanodimétatolylcarbondiimide de formule

$$\underset{CH^3}{C_6H_4}-\underset{H}{N}-\overset{C\equiv N}{\overset{|}{C}}=N-\underset{CH^3}{C_6H_4}$$

Ce sont de petits cristaux jaune pâle qui, après plusieurs cristallisations dans l'alcool, fondent à 128°.

Ce corps bien sec est dissous dans le benzène et traité pendant 4 heures à 40° par trois fois son poids de chlorure d'aluminium. La solution se colore en rouge violacé, on ajoute de la glace, on décante et l'on sèche la couche surnageante qui contient la métatoluide de la 6-méthylisatine. La cristallisation est fort pénible, nous avons pu cependant isoler des cristaux qui fondent à 65°-67°. Le produit est soluble dans l'alcool, le benzène, le sulfure de carbone, l'acide acétique. Cette anilide d'isatine traitée par l'acide chlorhydrique dilué à l'ébullition se scinde en métatoluidine et en 6-méthylisatine. La 6-méthylisatine cristallise soit en cristaux rouges, soit en superbes aiguilles soyeuses dorées, variété d'aspect souvent observée sur les isatines. Elle donne une phénylhydrazone déjà décrite. Traitée en solution acétique par la fondue technique de phénylglycine, elle donne le métyl-6-indol-3-indol-2-indigo (F. 307°). Sa cuve teint la laine et la soie, elle a même un peu d'affinité pour le coton qui se colore seulement en mauve très pâle.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Dérivés des dicétones 1.4 et de la semicarbazide.* Note de M. E.-E. Blaise, présentée par M. Haller.

Poursuivant l'étude des propriétés des dicétones 1.4, j'ai été amené à examiner l'action de la semicarbazide sur les dicétones.

J'ai constaté d'abord qu'en opérant dans les conditions ordinaires on

---

[1] Weith, Landolt, *Ber.*, t. 8, p. 719.

obtient simplement des disemicarbazones. Celles-ci constituent des poudres cristallines blanches, à peu près insolubles dans presque tous les solvants. L'intérêt que présentent ces corps est d'être facilement transformables en N-uréopyrrols.

Si l'on dissout la disemicarbazone de l'acétonylacétone dans l'acide formique cristallisable, en tiédissant au bain-marie, puis qu'on ajoute un excès d'eau, on obtient un précipité constitué par un corps complètement différent du produit initial. Ce corps cristallise dans l'alcool en belles aiguilles, fondant à 245° (point de fusion instantanée sur bain de mercure). Il dérive de la disemicarbazone par élimination d'une molécule de semicarbazide et constitue, comme le démontrent ses propriétés et sa synthèse, le N-uréo-$\alpha\alpha'$-diméthylpyrrol

$$\begin{array}{l} \quad\;\; CH^3 \\ \quad\;\;\, | \\ CH^2 - C = N - NH - CO - NH^2 \\ | \\ CH^2 - C = N - NH - CO - NH^2 \\ \quad\;\;\, | \\ \quad\;\; CH^3 \end{array} = NH^2 - NH - CO - NH^2 + \begin{array}{l} \quad\;\;\; CH^3 \\ \quad\;\;\;\, | \\ CH = C \diagdown \\ | \qquad\quad\;\; N - NH - CO - NH^2. \\ CH = C \diagup \\ \quad\;\;\;\, | \\ \quad\;\;\; CH^3 \end{array}$$

Cet uréopyrrol, réduit par le zinc et l'acide chlorhydrique, se dédouble en urée et $\alpha\alpha'$-diméthylpyrroline identique à celle que j'ai obtenue antérieurement par hydrogénation du N-oxy-$\alpha\alpha'$-diméthylpyrrol ou de l'$\alpha\alpha'$-diméthylpyrrol. Il s'agit donc bien d'un dérivé pyrrolique et non pas d'un dérivé pyridazinique. J'ai néanmoins tenu à vérifier synthétiquement le fait.

On voit aisément que la synthèse du N-uréodiméthylpyrrol peut être réalisée par action de l'acide isocyanique sur le N-aminodiméthylpyrrol et j'ai été amené à rechercher pour ce dernier corps, qui ne paraît avoir été qu'entrevu par Bulow (*Berichte*, t. 35, p. 4311) une méthode de préparation. L'action de l'acétylhydrazine sur l'acétonylacétone, en milieu acétique, donne aisément le N-acétylaminodiméthylpyrrol, qui forme de belles aiguilles fondant à 138°-139°. Malheureusement, ce corps n'est pas hydratable par les alcalis, et les acides minéraux, par contre, déterminent un dédoublement profond, avec élimination d'hydrazine. Au contraire, le N-formylaminodiméthylpyrrol (aiguilles fusibles à 178°) se laisse aisément hydrater par la potasse aqueuse et fournit le N-aminodiméthylpyrrol. Ce dernier fond à 52° et bout à 109° sous $21^{mm}$; il possède une odeur légèrement indolique et constitue une base faible, très peu soluble dans l'eau, mais soluble dans les acides étendus. Il possède les propriétés habituelles du

groupement $NH^2$ hydrazinique et se combine avec les aldéhydes et les cétones; enfin, il donne avec l'acide isocyanique un N-uréodiméthylpyrrol identique à celui qui résulte de l'action de l'acide formique sur la disemicarbazone de l'acétonylacétone.

De ces faits et de ceux que j'ai signalés antérieurement, se dégage nettement la conclusion suivante : les dicétones 1.4 ne donnent de dérivés pyridaziniques qu'avec l'hydrazine elle-même. Dans ce cas, au moins avec les dicétones acycliques, on n'obtient pas les dihydropyridazines prévues, mais un mélange de pyridazines et de tétrahydroridazines. Avec les dérivés monosubstitués de l'hydrazine : phénylhydrazine, acétyl- et formylhydrazine, semicarbazide, il ne se forme que des dérivés pyrroliques.

Il faut, en outre, remarquer que certains dérivés de l'acétonylacétone ont été obtenus en partant de l'éther diacétylsuccinique, par élimination ultérieure des deux carboxyles. Or, il n'est nullement indifférent de partir de l'éther ou de la dicétone. C'est ainsi que l'acétonylacétone donne exclusivement, avec l'hydroxylamine, une mono- et une dioxime, tandis qu'avec l'éther diacétylsuccinique on obtient immédiatement un dérivé N-oxypyrrolique. De même, tandis que le dipropionyléthane fournit avec l'hydrazine des dérivés pyridaziniques, l'éther diacétylsuccinique, dans les mêmes conditions, donne un mélange de dérivés pyridaziniques, et pyrroliques (Bulow, *loc. cit.*). Il semble donc que l'existence des deux carboxéthyles β cétoniques contenus dans la molécule de l'éther diacétylsuccinique favorise la production de composés pyrroliques, ce qui s'explique par le fait que ces deux carboxéthyles concourent à donner à la molécule la forme diénolique, favorable à la production de dérivés pyrroliques.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Nouvelle méthode générale de préparation des amines à partir des aldéhydes ou des cétones.* Note de M. **Georges Mignonac**, présentée par M. Charles Moureu.

1. Dans une Note récente, j'ai montré que, par hydrogénation catalytique de l'hydrobenzamide, on pouvait obtenir très facilement soit la benzylamine, soit la dibenzylamine ([1]). Au point de vue de la préparation des amines, il y avait lieu d'examiner s'il était bien nécessaire d'isoler l'hydramide et si l'action simultanée, en présence de nickel, de l'ammo-

---

([1]) G. Mignonac, *Comptes rendus*, t. 171, 1920, p. 1148.

niaque et de l'hydrogène sur l'aldéhyde, ne conduirait pas au même résultat.

L'ammoniaqne en solution alcoolique se combine très facilement aux aldéhydes, et, presque immédiatement, l'aldimine ($RCH = NH$) formée se polymérise, ou se condense avec élimination de gaz ammoniac. La nature des produits condensés diffère, pour les premiers termes, avec chaque aldéhyde; mais, à mesure que le poids moléculaire s'élève, on tend vers le type hydrobenzamide $\left(\begin{matrix} RCH = N \\ RCH = N \end{matrix}\rangle CHR\right)$.

L'action simultanée de l'ammoniac et de l'hydrogène sur les aldéhydes se ramènera donc à l'hydrogénation des substances complexes résultant de la condensation de l'aldimine ou à l'hydrogénation de ces substances en voie de formation.

Si l'on envisage les combinaisons de l'ammoniac avec les cétones, on remarque que l'acétone conduit à la diacétone amine $C^6H^{13}ON$ et à la triacétone amine $C^9H^{17}ON$ (substances renfermant de l'oxygène). Thomæ [1] a montré que les cétones homologues de l'acétone et l'acétophénone dissoutes dans de l'alcool saturé d'ammoniac conduisent, après un temps très long (plusieurs semaines et même plusieurs mois) ou sous l'influence d'une température élevée (150°-180°), à des produits complexes de la forme

$$\begin{matrix} R \\ R' \end{matrix}\rangle C\left(N = C\langle\begin{matrix} R \\ R' \end{matrix}\right)^2.$$

D'autre part, j'ai observé, dans certaines conditions, la formation des cétimines $\begin{matrix} R \\ R' \end{matrix}\rangle C = NH$ par l'action directe de l'ammoniac sur les cétones [2]. On pouvait donc penser que les substances décrites par Thomæ devaient résulter de la condensation de la cétimine, et que celle-ci prend naissance, même à la température ordinaire, par action de l'ammoniac sur les cétones en solution dans l'alcool absolu

$$\begin{matrix} R \\ R' \end{matrix}\rangle CO + NH^3 \rightleftharpoons \begin{matrix} R \\ R' \end{matrix}\rangle C = NH + H^2O.$$

Dans un tel milieu, il paraît difficile d'isoler la cétimine qui se trouve en équilibre; mais elle pourra être mise en évidence par sa transformation en

(1) Thomæ, *Arch. der Pharm.*, t. 243, p. 291-296 et 393-399; t. 244, p. 641-643 et 663-664.

(2) G. Mignonac, *Comptes rendus*, t. 169, 1919, p. 237.

amine primaire. Au cours de recherches sur l'hydrogénation des nitriles, des oximes, de l'hydrobenzamide [1], j'ai remarqué, en effet, que le groupement $\left(>C=NH\right)$ fixe plus facilement l'hydrogène que le groupement $\left(>C=O\right)$, et, en outre, que l'on peut préparer un catalyseur fixant à peu près uniquement, dans des conditions expérimentales déterminées, l'hydrogène sur la fonction $\left(>C=NH\right)$.

Un tel catalyseur, mis en œuvre en présence d'hydrogène et d'ammoniac dans une solution alcoolique de cétone, provoquera la transformation de la cétimine en amine primaire, ce qui aura pour conséquence de supprimer la formation des substances complexes qui ont la cétimine pour origine.

L'expérience a entièrement confirmé ces prévisions.

2. A la suite de ces différentes remarques, j'ai pu établir une méthode très simple de préparation des amines primaires à partir des aldéhydes et des cétones et vérifier sa généralité en l'appliquant à l'obtention d'un certain nombre d'amines, qui ont pu être préparées avec des rendements satisfaisants.

Pour la mise en œuvre de cette méthode on prépare une solution de gaz ammoniac sec dans l'alcool absolu (7 à 8 pour 100 de $NH^3$); on dissout l'aldéhyde ou la cétone dans un volume d'alcool ammoniacal tel qu'il renferme la quantité théorique d'ammoniac pour la formation de l'imine ($1^{mol}$ de $NH^3$ pour $1^{mol}$ d'aldéhyde ou de cétone) [2], et dans la solution on introduit, à l'abri de l'air, le catalyseur (nickel divisé). On soumet le mélange à une agitation énergique dans une atmosphère d'hydrogène maintenue à une pression voisine de la pression atmosphérique. Dans ces conditions et à la température ambiante (15°-20°), l'hydrogénation a lieu régulièrement, on l'interrompt quand l'absorption de l'hydrogène devient trop faible.

Après séparation du catalyseur, l'amine est isolée par les méthodes habituelles. La quantité d'amine obtenue correspond sensiblement à l'hydrogène fixé.

L'*aldéhyde éthylique* ($8^g$,6) conduit à un mélange ($6^g$) d'*éthylamine* et de *diéthylamine*.

---

(1) *Comptes rendus*, t. 170, 1920, p. 936; t. 171, 1920, p. 114 et p. 1148.

(2) Dans le cas des cétones, un excès d'ammoniac ($1^{mol}$,5 à $2^{mol}$) est préférable.

L'*aldéhyde butylique* (10g) à un mélange (7g) de *butylamine* et de *dibutylamine* contenant surtout la base primaire (5g).

L'*œnanthol* (23g) a fourni l'*heptylamine* (14g).

L'*aldéhyde benzoïque* a conduit à un mélange à parties égales de *benzylamine* et de *benzalbenzylamine*.

L'*aldéhyde p-éthylbenzoïque* [1] (25g) donne surtout la *p-éthylbenzylamine* (18g). Cette base bout à 100°-101° sous 10mm,5; elle donne, à l'air, un carbonate facilement dissociable sous l'action de la chaleur.

L'*acétone* (12g) conduit à l'*isopropylamine* (7g,5) et à une petite quantité de *diisopropylamine* (1g). Avec la *méthylhexylcétone* (12g,8) il se forme uniquement de l'*octylamine-2* (12g); de même la *cyclohexanone* (15g) donne aisément la *cyclohexylamine* (12g). Dans le cas de l'*acétophénone* et de la *propiophénone*, l'hydrogénation est lente, les amines correspondantes *α-phényléthylamine* et *α-phénylpropylamine* sont obtenues avec des rendements de 25 à 35 pour 100. Par traitement d'une cétone éthylénique, la *méthylhepténone*, j'ai pu préparer, avec de bons rendements (60 pour 100), l'amine correspondante, sans hydrogéner la liaison éthylénique; l'*amino-6-méthylheptène* bout à 166°-168° : $n_D^{20°} = 1,4460$; le picrate fond à 111°-112° et l'oxalate à 202°-203°; ces caractères identifient la base avec celle qu'a obtenue Wallach en réduisant l'oxime de la méthylhepténone [2].

GÉOLOGIE. — *Les monts de la Margeride; leurs éruptions porphyriques; leurs cycles d'érosion et leurs glaciers.* Note de M. **Ph. Glangeaud**, présentée par M. Pierre Termier.

Les monts de la Margeride (1300m-1554m) constituent ce bourrelet anticlinal surtout archéo-granitique de direction NNO, qui sur 60km de long et sur 10km à 15km de large culmine, au Nord, une ancienne pénéplaine oligocène couverte de volcans démantelés (de 1000m à 1100m). Au Sud et au Sud-Est, par le plateau granitique du Palais du Roi (1440m) et les Trucs de Fortunio (1540m) et de Randan (1554m), ils s'élèvent au-dessus des causses de Mende (1150m), de la plaine jurassique de Montbel (1257m) et de la vallée du Lot.

A l'Ouest, ils se dressent au-dessus d'une longue dépression oligocène disloquée et volcanique en partie déblayée (de 800m à 900m), jalonnée par la Truyère, cependant qu'à l'Est, des pentes plus douces, un versant plus étalé, conduisent à la gorge pittoresque et volcanique de l'Allier (600m).

---

(1) Cet aldéhyde a été préparé par la méthode de M. Sommelet (action du *p*-éthylchlorure de benzyle sur l'hexaméthylène-tétramine).

(2) Wallach, *Annalen der Chemie*, t. 309, p. 25.

Le territoire montagneux de la Margeride, assez bossué au Nord, est parsemé de nombreuses tourbières sur ses hauteurs (1300$^{m}$).

I. Il y a une *dissymétrie* et un contraste marqué *des deux versants* Est et Ouest. Celui qui regarde, à l'Ouest, la dépression oligocène tombe brusquement sur cette dépression, par une suite de gradins rapprochés, résultant d'effondrements du flanc anticlinal de la Margeride en une série de compartiments. Aussi la montagne apparaît-elle plus massive de ce côté que sur le versant Est.

En dehors de ces particularités, l'ensemble offre sous les hauts sommets une succession de *paliers* correspondant à *cinq cycles d'érosion*, que l'on peut suivre sur les flancs et les vallées pénétrant fortement dans la montagne où ils s'emboîtent : notamment le long des vallées de la Seuges et de la Desges.

Entre Saugues et les points élevés, on relève la série suivante, qui les synthétise :

1° Restes de *très vieilles surfaces topographiques* apparaissant en saillie, de 1400$^{m}$ à 1500$^{m}$, au-dessus d'une *deuxième surface topographique* développée entre 1310$^{m}$ et 1220$^{m}$, dans laquelle s'enfoncent en général les cirques d'érosion et glaciaires, les vallées glaciaires à faible pente et souvent tourbeuses (vallées mûres ou séniles). A l'ouest de Châteauneuf-de-Randan, les restes des première et deuxième surfaces sont également manifestes.

Le *troisième cycle* comprend des plateaux très étendus (1090$^{m}$-1050$^{m}$) au Nord et à l'Est vers Monchamp, Védrines-Saint-Loup, Grèzes, etc., culminant des paliers (1000$^{m}$-990$^{m}$) qui correspondent au *quatrième cycle*, longeant les vallées qu'ils dominent de 60$^{m}$ jusqu'à Saugues, tandis que des restes de *terrasses* ou de méplats s'observent à 15$^{m}$ seulement au-dessus des vallées dans le même territoire (930$^{m}$).

Mais à partir de la dépression alluviale de Saugues qui a servi de niveau de base momentanée aux cours d'eau du quatrième cycle, les rivières s'enfoncent rapidement sur 300$^{m}$ de haut dans le socle cristallin, pour atteindre l'Allier actuel par des gorges sauvages (*cinquième cycle*) que l'on utilise pour la houille blanche. Les ruptures de pentes principales séparent le deuxième et le troisième cycle, et le quatrième et le cinquième. Les cycles d'érosion observés dans la Margeride sont les homologues de ceux des monts du Forez, chaîne également dissymétrique, d'altitude à peu près semblable, où M. Briquet et moi les avons étudiés.

On les retrouve dans les grandes régions volcaniques (où ils sont remplacés parfois par des cycles d'érosion glaciaire), dans la Chaîne des Puys, dans le Plateau de Millevaches et le Mont Lozère. Trois cycles ont été

reconnus par M. Demangeon dans le Limousin et par David dans la montagne Noire. Les inférieurs sont en relation avec des terrasses alluviales pliocènes et quaternaires. Il sera donc probablement possible d'établir une synthèse de ces cycles et de les dater.

II. Le *granite*, très *porphyroïde*, avec cristaux d'orthose de $6^{cm}$ à $10^{cm}$ de long, riche en biotite, est la roche dominante de la chaîne, dans la partie sud et centrale. Il est fortement altéré, parfois sur plus de $10^{m}$ d'épaisseur, et présente en certains points (Malzieu) de curieux ravinements résultant de cette altération, simulant ceux que l'on observe dans les argiles. Au Nord, s'étend surtout l'*archéen* avec failles NE et NW (gneiss, micaschistes, schistes à séricite, amphibolites, etc.). L'ensemble est traversé au Nord de bosses de *granite à muscovite* plus ou moins ramifié (mont Chouvet, Le Clou), avec fréquence de tourmaline en nids, comme la muscovite. Sur presque toute l'étendue de la chaîne affleurent de multiples et long filons NE et NW (atteignant jusqu'à $8^{km}$) de *microgranite à biotite*, de *porphyre pétro-siliceux*, en relation, dans certains cas, avec des restes de coulées. Plusieurs de ces filons ont été figurés par Fabre sur la feuille de Largentière (environs de la Panouse, Saint-Paul-le-Froid), par M. Boule sur la feuille de Mende (La Villedieu) et par Fouqué en quelques points de la feuille de Saint-Flour; mais si l'on tient compte des observations faites sur cette dernière feuille, où affleurent également des filons de *rhyolite*, de *porphyrite* et de *kersantite* (Lajo, Paulhac, Miolane), on peut dire que la Margeride ressemble beaucoup, au point de vue de ces éruptions, au nord des monts du Forez et de la Madeleine. Elle a dû être le siège au Carbonifère, comme ces dernières, de multiples éruptions volcaniques représentées aujourd'hui seulement par les cheminées d'ascension des laves et quelques restes de coulées. Les filons de *quartz* permotriasiques qui accidentent cette région achèvent d'établir la similitude des deux territoires réduits par l'érosion à leurs racines carbonifères.

III. Les *névés* et les *glaciers* ont recouvert la Margeride au moins à deux reprises, mais le modelé glaciaire et les restes de moraines ne sont pas toujours discernables, en raison de l'altération profonde et rapide des roches de ce territoire, ainsi qu'il a été dit plus haut. Je les ai cependant observés sur les deux versants.

La haute vallée de la Desges et ses affluents sont entourés d'un cercle de collines (dont l'altitude s'élève de $1400^{m}$ à $1497^{m}$) présentant à leur base des cirques glaciaires occupés par des tourbières, se continuant par des vallées en U (au pied des monts Chauvet, Mongrand $1497^{m}$) et offrant

quelques verrous et des restes de moraines. Les environs de Paulhac sont particulièrement caractéristiques à cet égard.

La première glaciation y est figurée par des replats avec blocs erratiques échelonnés entre $1250^m$ et $1200^m$, et la deuxième vers $1125^m$. On les retrouve entre Pompeyrin et La Beyssère-Saint-Mary, à Liconesse (buttes moutonnées), à Freyssenet-Chazelat (verrou avec alluvions fluvio-glaciaires), ainsi que dans le grand cirque de Dux-Miolanes, à l'ouest de Malzieu, à des altitudes analogues.

GÉOLOGIE. — *Sur la répartition et l'allure des bassins phosphatés dans le Maroc occidental.* Note [1] de M. J. Savornin, présentée par M. Ch. Depéret.

Le Maroc présente de riches gisements de phosphates sédimentaires éocènes (sables blancs ou grisâtres) dans la région dite : *Plateau de Beni-Meskine*, ou *d'El Borouj-Oued Zem*, qui se continue vers Kasba Tadla. Leur étendue méridienne varie de $1^{km}$ à $50^{km}$, pour une longueur Est-Ouest de plus de $120^{km}$. On sait que le tonnage à espérer dépasse 3 à 4 milliards de tonnes.

J'ai observé d'autres gisements dans les bassins hydrographiques de l'Oum er Rebia, du Bou Chane, du Tensift et de l'Oued Kçob.

1° *Bassin des Ahmar-Rehamna.* — La moyenne vallée de l'Oum er Rebia sépare le grand plateau des Beni-Meskine de celui des Selam-R'eraba-Oulad Delim, où l'Éocène est transgressif sur le Primaire et l'Archéen [2]. Les surfaces des deux plateaux sont formées des mêmes calcaires lutétiens à *Thersitées*, concordants sur un faisceau de bancs calcaires, marneux, siliceux et *phosphatés* qui constituent l'étage Suessonien.

Si l'on connaît bien le nombre, la puissance et la teneur des couches phosphatées dans le plateau nord de l'Oum er Rebia, aucune prospection n'a été faite au Sud; mais je puis y mentionner la présence de ces couches, toujours sableuses, dont on voit les déblais autour de certains puits arabes. Des blocs silico-phosphatés caractéristiques (fréquemment intercalés vers

---

[1] Séance du 27 décembre 1920.

[2] Il repose sur le Crétacé supérieur à l'Est vers la Gadá des Selam R'eraba (chez les Rehamna) et sur le Crétacé moyen à l'Ouest, près la Zaouïa Sidi b. Madhi er Rhouati (chez les Ahmar).

le toit de certaines couches à El Borouj-Oued Zem) jonchent aussi le sol sur les pentes méridionales du Bou Chane.

Ce bassin s'étend en latitude sur une longueur de plus de $80^{km}$ à l'est du lac Zima, pour une largeur maxima de $30^{km}$. La moitié environ de son étendue (Sud-Est) est probablement noyée sous le niveau hydrostatique.

Les cartes de MM. Brives et Gentil indiquent l'Éocène inférieur à l'ouest du lac Zima, en bordure de la plaine-hinterland de Safi. Il ne peut s'agir que de la retombée d'une flexure, au bord de la falaise crétacée, car celle-ci fait partie d'un grand affleurement où domine le Cénomanien gypseux, jusque dans le douar Biassa. Cette indication témoignerait néanmoins de l'existence du Suessonien sous une partie du Néogène littoral.

2° *Résidus superficiels de Chichaoua.* — Je désigne ainsi les affleurements éocènes mentionnés par MM. Brives et Lemoine le long de la route Mogador-Marrakech (Ank el Djemel, Raïat, Tilda), à l'exclusion de ceux que les cartes figurent le long de l'oued Chichaoua et que je n'ai point observés.

Les calcaires à *Thersitées* forment ici des tables étroites, rappelant les « gour » désertiques. Le Suessonien occupe autour d'elles une étendue irrégulière, dont j'ai relevé les contours déchiquetés. La plus grande dimension Est-Ouest est d'environ $18^{km}$, pour $10^{km}$ Nord-Sud.

Les travaux de prospection ont fait connaître au Tilda l'existence de bancs utiles moins riches qu'à El Borouj. La tranchée de la route, aux Raïat, montre un banc exploitable interrompu par une faille.

On n'y connaissait pas l'existence de bancs phosphatés.

3° *Synclinal des Meskala.* — Cet affleurement, dont l'étude est facile au Khemis des Meskala, est serré dans le crétacé qui forme, au nord du Mtouga, une série d'ondulations. Grossièrement elliptique, il mesure $25^{km}$ de long, sur une largeur méridienne de $5^{km}$.

Un curieux témoin de Suessonien (où la couverture lutétienne manque) s'en détache et forme le plateau du Zned, dont la superficie n'excède pas $300^{ha}$.

La prospection de ces deux gisements, séparé par un seuil crétacé large de $1^{km}$ (route du Tleta el Hanchen au Khemis Meskala) est encore à faire. L'existence de bancs phosphatés que j'y ai vus est seule acquise.

4° *Témoin du Jbil.* — Une minuscule trace de calcaires à silex est au flanc sud du Jbil (Djebel Jhil, sur la carte au $\frac{1}{200000}$ « Dar Kaïd Mtougui »). C'est la pointe d'un synclinal relayant le précédent vers l'Est et presque tout enfoui sous la plaine alluvionnaire des Oulad Jemmouna. La partie

visible occupe quelques hectares. On y reconnaît des traces de bancs silico-phosphatés.

5° *Bassin d'Imi n'Tanout.* — J'ai précisé [1] la position stratigraphique d'un affleurement, bord sud de synclinal, à Imi n'Tanout. Ce pli se ferme à l'Ouest à $5^{km}$ de la Zaouia Sidi Abd el Moumen. Il se prolonge vers l'Est, à la lisière de l'Atlas, jusqu'au delà d'Amismiz. Sa terminaison orientale est figurée par MM. Brives et Gentil au pied du plateau de Kik. La presque totalité du bassin, dont la largeur peut atteindre $15^{km}$ à $20^{km}$, est cachée sous les alluvions oligocènes et quaternaires.

Cette situation est fâcheuse, au point de vue industriel, à cause du bassin hydrologique, probablement artésien, noyant les phosphates. La prospection faite à Imi n'Tanout et à Kahira a donné des résultats jugés encourageants, mais la remarque ci-dessus leur enlève toute valeur pratique.

6° *Bassin de Tanaout ou du Haouz.* — J'indique ce bassin sur la foi des cartes géologiques. Il est séparé de celui d'Imi n' Tanout par le grand seuil éocrétacique et paléozoïque reliant le plateau de Kik à Tameslouht, que je n'ai point franchi.

La disposition tectonique y doit être la même que dans le précédent bassin et le phosphate peut s'y trouver.

Il resterait à rechercher des jalons le reliant, vers le Nord-Est, au synclinal de Kasba Tadla, par Demnat et l'oued Abid.

*En résumé*, les grandes étendues tabulaires des Beni Meskine et des Oulad Delim sont, de beaucoup, les plus importantes pour l'avenir industriel. Auprès de ces immenses richesses, les résidus de Chichaoua n'ont qu'un intérêt théorique : ils montrent la continuité du régime tabulaire jusqu'au delà des Djebilet et le retour à la situation peu ou point transgressive du Suessonien. Les autres bassins nous renseignent sur l'orogénie de l'Atlas : la netteté de leur plissement et leur remplissage par la puissante formation continentale aquitanienne mettent en valeur l'importance du mouvement orogénique pyrénéen, à la bordure du grand et du moyen Atlas.

Quant à la transgression suessonienne, que j'ai notée au sud de Ben Guerir et jusqu'au lac Zima, elle témoigne d'oscillations eustatiques, non accompagnées de plissement. On sait d'ailleurs que ce régime caractérise toute l'évolution paléogéographique du Maroc occidental durant les temps secondaires.

---

(1) *Comptes rendus*, t. **171**, 1920, p. 807.

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Action nocive des feuilles mortes sur la germination.* Note de M. **Auguste Lumière**, présentée par M. Gaston Bonnier.

En cherchant à découvrir les causes du rythme saisonnier et du réveil de la terre, qui sont indépendantes des variations de température, nous avons antérieurement ([1]) émis l'hypothèse que les produits solubles renfermés dans les feuilles mortes et les débris des plantes annuelles, ainsi que ceux qui résultent de leur fermentation, pourraient peut-être jouer un rôle dans ce phénomène périodique.

Pour vérifier cette supposition, nous avons fait tout d'abord macérer pendant 12 heures, dans $2^l$ d'eau de pluie, des lots de $500^g$ de débris de végétaux morts, puis de feuilles de marronniers, de platanes et d'arbres fruitiers divers, ramassées immédiatement après leur chute.

Les liquides de macération recueillis sont sensiblement neutres, colorés en brun plus ou moins foncé et réduisent très nettement la liqueur de Fehling à l'ébullition ; ils donnent un précipité noir verdâtre par le perchlorure de fer et des matières colorantes par condensation avec les diazoïques. Ces solutions sont donc douées de propriétés réductrices très nettes et paraissent renfermer des corps phénoliques.

Elles s'opposent complètement à la germination des graines.

Après une première macération, si nous remplaçons le liquide retiré par un égal volume d'eau de pluie, nous obtiendrons un nouvel extrait plus dilué, mais qui empêche de la même façon la levée des graines.

En continuant ainsi des épuisements méthodiques, nous avons constaté qu'il fallait en poursuivre la série de nombreuses opérations pour avoir une liqueur qui n'agit plus sensiblement sur la germination.

Dans la nature, les feuilles mortes et les débris végétaux subissent une désorganisation progressive pour aboutir finalement à l'humus et il nous a paru également important d'étudier l'action des produits qui prennent naissance aux premiers stades de leur désagrégation.

A cet effet, nous avons abandonné ces débris à la fermentation spontanée à l'air libre, dans les conditions habituelles de leur transformation et nous avons constaté que leurs premières modifications s'effectuent sous l'influence de micro-organismes dont le plus important est un bacille de l'espèce

---

([1]) Auguste Lumière, *Le réveil de la terre arable* (*Comptes rendus*, t. 171, 1929, p. 868).

coli. Au fur et à mesure qu'elle se poursuit, le milieu devient acide, il se colore davantage, prend une odeur aromatique prononcée; au bout de 3 mois de fermentation, le liquide d'extraction est rouge brun, très difficile à filtrer; dès qu'une portion est passée au travers du filtre, elle se trouble en absorbant l'oxygène de l'air; sa surface se recouvre d'une pellicule irisée et, si l'on procède à des filtrations successives, les mêmes phénomènes se reproduisent par suite de la formation de produits d'oxydation insolubles.

Cette solution possède aussi des propriétés réductrices analogues à celles des macérations préparées immédiatement après la chute des feuilles et exerce les mêmes effets d'inhibition sur la germination des graines.

De nombreux essais sont actuellement en cours afin de préciser les différences que peut présenter la flore microbienne des débris pendant le cours de leur désintégration; ces essais auront ainsi pour but de déterminer, avant l'attaque de la cellulose et des hydrates de carbone, déjà étudiée par d'autres auteurs, la composition des produits intermédiaires élaborés dans ces fermentations et leurs propriétés ainsi que les variations qui peuvent être observées dans ces différents éléments quand on passe d'une espèce végétale à une autre ou lorsqu'on change de climat.

Quoi qu'il en soit, l'explication que nous avons donnée du réveil de la terre semble bien confirmée par ces premiers résultats.

On sait, en effet, que la germination est caractérisée par des oxydations d'une grande intensité; en l'absence d'oxygène, elle n'est pas possible; or, au moment de la chute des feuilles et de la mort des plantes annuelles, les pluies dissolvent les corps solubles réducteurs renfermés dans ces matériaux et imprègnent le sol de substances qui tendent à absorber l'oxygène pour leur propre compte en privant la graine de cet élément absolument indispensable à sa levée.

Au début de la désorganisation des débris végétaux, les mêmes phénomènes peuvent se poursuivre pendant un certain temps encore.

Après la chute des feuilles, la terre demeurera donc stérile jusqu'au jour où l'oxygène atmosphérique ayant pénétré dans le sol, soit directement, soit par sa dissolution dans les eaux de pluies, aura complètement oxydé les produits réducteurs qu'elle renfermait.

Ce mécanisme permet de comprendre toute l'importance du labourage qui ramène à la surface les couches profondes imprégnées d'agents stérilisants dont l'action paralysante est ainsi plus complètement annihilée.

Il explique, en outre, le réveil de la terre qui se manifeste aux premiers jours du printemps, alors que le relèvement de la température a permis de

hâter la fin de ces réactions dont le cycle se trouve terminé à cette époque de l'année.

Nous nous proposons de poursuivre ces expériences, non seulement pour apporter plus de précision dans l'étude du phénomène de biologie végétale qui nous occupe, mais aussi dans l'intention de rechercher des moyens de pouvoir rendre à la terre d'une façon précoce la fécondité qu'elle perd momentanément en hiver du fait des substances réductrices dont nous avons montré l'origine. Il est inutile d'insister sur l'intérêt que pourrait présenter la solution d'un tel problème.

CHIMIE VÉGÉTALE. — *Sur la présence d'acide quinique dans les feuilles de quelques Conifères.* Note de M. **Georges Tanret**, présentée par M. L. Maquenne.

L'acide quinique, découvert primitivement dans le quinquina (Hofmann, 1790), a, jusqu'à ce jour, été surtout rencontré dans la famille des Rubiacées : dans les Quinquinas, les Remijias, le Café, le Caille-Lait de nos prairies. Il existe aussi dans les feuilles de certaines Ericacées : Busserole, Airelle myrtille et différents autres genres de *Vaccinium;* on l'a enfin signalé dans les feuilles de Tabac, de Betterave et de Groseillier noir.

Je viens à mon tour de constater sa présence dans les feuilles de quelques Abiétinées.

I. Des feuilles de Cèdre (*Cedrus Libani*) sont traitées, à deux reprises, par cinq fois leur poids d'alcool à 70° bouillant. L'extrait alcoolique est déféqué par le sous-acétate de plomb, puis privé de plomb par $SO^4H^2$ et d'acide acétique par agitation avec de grandes quantités d'éther. La liqueur, franchement acide, est neutralisée à la baryte, puis amenée en sirop : celui-ci est privé de ses sucres par des épuisements à l'alcool bouillant. Le résidu, surtout constitué par un sel organique de baryte, est dissous dans l'eau et additionné de sous-acétate de plomb : le sel basique de plomb ainsi précipité est décomposé par $H^2S$ : on évapore sa solution, on reprend par l'alcool à 95° bouillant qui sépare des sels, on chasse l'alcool et l'on concentre la solution aqueuse qui abandonne lentement de beaux cristaux d'acide quinique. Des eaux mères on retire encore un peu d'acide en l'insolubilisant à l'état de quinate de chaux.

L'acide quinique cristallise anhydre. Très soluble dans l'eau, il l'est peu dans l'alcool fort : il se dissout à 14° dans 50 parties d'alcool à 95°,

31 parties d'alcool à 90°, 14 parties d'alcool à 80°, 6,6 parties d'alcool à 60°. Sa solution aqueuse a pour pouvoir rotatoire $[\alpha]_D = -43°,2$. Chauffé avec un mélange de $SO^4H^2$ et de $MnO^2$ il donne lieu à la production de quinone qu'on isole par sublimation. Ses sels de calcium et de baryum contiennent les quantités théoriques de Ca et de Ba.

Quant à son point de fusion, il a été trouvé notablement supérieur à celui indiqué par Hesse (161°,6) et reproduit dans la plupart des livres classiques : au bloc Maquenne ou en tube effilé fermé, les cristaux ne fondent qu'à 183°-184°.

Des feuilles de Cèdre, récoltées dans la région parisienne, ont ainsi donné, au mois de juillet, un rendement de $5^g$ d'acide cristallisé par kilogramme (rapporté aux feuilles à 100°). En décembre, l'acidité libre des feuilles avait diminué d'un tiers : on n'a alors pu isoler que $2^g$ d'acide au kilogramme.

II. Au cours de ce travail, on a été amené à rechercher les modifications que, comme dans le cas de l'acide tartrique et de l'acide malique (Gernez), le molybdate d'ammoniaque apporte à la valeur du pouvoir rotatoire de l'acide quinique. On a ainsi constaté que des additions progressives de ce sel changent notablement ce pouvoir rotatoire. Rapporté à $1^{mol}$ d'acide quinique, on le voit d'abord passer de sa valeur initiale à un premier maximum $[\alpha]_D = -63°$ pour $\frac{1}{16}$ de molécule de molybdate, puis décroître jusqu'à $-54°,8$ pour $\frac{1}{8}$ de molécule, pour remonter enfin à la valeur limite $-71°,7$ avec $\frac{1}{2}$ molécule ($1^g$ d'acide quinique pour $14^{cm^3}$ de solution).

De telles solutions, longtemps abandonnées à elles-mêmes, déposent lentement un polymolybdate peu soluble, analogue à celui que M. Darmois a récemment signalé comme se formant dans l'action du molybdate d'ammoniaque sur l'acide malique : en même temps le pouvoir rotatoire subit de nouvelles modifications. Au bout de deux mois et demi, le minimum était tombé à $[\alpha]_D = -21°$ : le premier maximum ne varie pas, le second remontant légèrement à $[\alpha]_D = -74°,7$.

Cette action sensibilisatrice du molybdate d'ammoniaque peut, dans certains cas, aider à la recherche de l'acide quinique et servir de base à une méthode approchée de dosage, étant donné que le pouvoir rotatoire de l'acide augmente des deux tiers par l'addition d'un excès de molybdate [1].

III. La recherche précédente a été étendue à un certain nombre de Coni-

---

(1) L'augmentation globale du pouvoir rotatoire de l'acide quinique sous l'influence du molybdate d'ammoniaque avait déjà été signalée par Rimbach et Schneider (*Z. f. physik. Ch.*, t. 44, 1903, p. 467). L'existence des trois points critiques que je signale ici n'a cependant pas été vue nettement par ces auteurs.

fères, dont l'acidité libre des feuilles était du reste très variable, dans le rapport de 1 à 8.

Les tentatives d'isolement sont restées négatives dans le cas de l'If (*Taxinées*) et du Genévrier (*Cupressinées*). Dans le groupe des Abiétinées, on n'a pas trouvé d'acide quinique dans l'Epicea ni dans le Sapin ; par contre, le Mélèze (*Larix europæa*) m'a fourni des résultats à rapprocher de ceux du Cèdre, mais avec des différences sensibles suivant la provenance des échantillons analysés. Des Mélèzes de la forêt de Fontainebleau (juillet) ont donné $3^g,5$ d'acide par kilogramme de feuilles (à 100°) : le rendement a atteint $5^g$ pour des feuilles récoltées au même moment dans une vallée des Hautes-Alpes, à $1800^m$ d'altitude. On retrouve donc, dans ce cas particulier, l'influence du climat sur la biologie d'un même végétal, aussi nette au point de vue chimique qu'elle l'est souvent au point de vue morphologique. Cet exemple est à rapprocher de l'augmentation de la teneur en quinine et en cinchonine des Quinquinas cultivés aux altitudes élevées, de la richesse en essence des Lavandes croissant en montagne, de la composition variable de l'essence de Criste-Marine selon les points de sa récolte (Delépine et de Belsunce), et de bien d'autres encore.

MORPHOLOGIE. — *De l'action tourbillonnaire de l'eau sur le corps et la queue des Oiseaux plongeurs*. Note de M. **A. Magnan**, présentée par M. Edmond Perrier.

J'ai montré, en collaboration avec M. F. Houssay [1], que les Oiseaux aquatiques se distinguent des autres groupes d'Oiseaux par une aile peu large, et cela quelle que soit leur sorte de vol, plané ou ramé. En outre, chez ces Oiseaux d'eau, l'acuité de l'aile étant très grande, la queue se trouve raccourcie, alors que les autres Oiseaux s'opposent aux précédents par une aile moins aiguë et une queue plus longue.

J'ai essayé de détailler davantage ces conclusions par une analyse plus serrée et, à la suite de nouvelles observations, j'ai été amené à adopter le groupement suivant pour les Oiseaux que j'ai étudiés, tellement les résultats que j'obtenais étaient caractéristiques, lorsque je comparais la longueur de la queue mesurée en centimètres à la racine cubique du poids exprimé en grammes.

---

(1) F. Houssay et A. Magnan, *L'envergure et la queue chez les Oiseaux* (*Comptes rendus*, t. 154, 1912, p. 39).

| | | Poids du corps. | Longueur relative de la queue. | Rapport de l'envergure à la largeur de l'aile. |
|---|---|---|---|---|
| A. | Rapaces diurnes | 1443,90 g | 2,6 | 5,6 |
| | Corvidés | 255 | 2,6 | 4,2 |
| | Passereaux | 43,20 | 2,3 | 4,6 |
| | Rapaces nocturnes | 587 | 2,2 | 5,5 |
| | Gallinacés, Colombins | 560,50 | 1,7 | 5,3 |
| B. | Palmipèdes à grandes ailes | 2026,70 | 1,7 | 8,7 |
| | Grands Echassiers | 2662 | 1,5 | 6 |
| | Petits Echassiers | 280,40 | 1,3 | 6,7 |
| | Oiseaux plongeurs | 892 | 0,8 | 7 |

Il ressort de l'examen de ce Tableau qu'il existe bien deux séries d'Oiseaux très distinctes :

1° La série A, formée d'Oiseaux terrestres, chez lesquels l'acuité de l'aile est assez petite et la longueur de la queue assez grande.

2° La série B, constituée par des Oiseaux habitués à vivre dans les régions aquatiques, qui, de ce fait, ont souvent à supporter les effets de grands courants d'air et chez lesquels l'acuité de l'aile est plus grande, tandis que la queue est courte.

Mais on peut se rendre compte que les Oiseaux plongeurs possèdent une queue extraordinairement réduite, plus réduite que celle des autres Oiseaux fréquentant les rivages ou les marais, mais ne menant pas la vie aquatique. J'ajouterai que les chiffres que je donne ne représentent pas des moyennes factices, puisque la longueur relative de la queue varie, pour les espèces étudiées, de 2 à 3,3, chez les Rapaces diurnes par exemple, et seulement de 0,3 à 1,1 chez les Oiseaux plongeurs.

On sait, comme plusieurs auteurs l'ont établi, que les Poissons ont leur extrémité postérieure effilée. Cet effilement de la partie postérieure de leur carène est la conséquence de l'action tourbillonnaire de l'eau qui a eu aussi pour effet de provoquer une inversion du corps, avec compression dans le plan horizontal à l'avant et dans le plan vertical à l'arrière, ainsi que l'a montré C. Weyher (1).

Or il n'est pas sans intérêt de faire remarquer que ce modelage par l'eau s'est exercé sur les Oiseaux plongeurs de façon identique, effilant la partie

(1) C. Weyher, *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, 15 janvier 1905.

postérieure de leur corps et réduisant les rectrices en longueur et en poids, souvent au point de les faire disparaître presque complètement, et cela est vrai aussi bien chez les Palmipèdes et les Échassiers, que chez les Passereaux plongeurs tels que les martins-pêcheurs dont la longueur relative de la queue est de 1,1, alors que pour les autres Passereaux, cette longueur est en moyenne de 2,3.

J'ai constaté d'ailleurs que d'autres déformations avaient été apportées au corps des Oiseaux plongeurs en raison de leur déplacement à une certaine vitesse, quelquefois assez grande, dans le milieu aquatique. Tout d'abord leurs membres postérieurs, pressés par les courants d'eau, se sont placés dans le prolongement du corps en même temps que les jambes se soudaient plus ou moins à celui-ci. En outre, ces Oiseaux ont subi, comme les Poissons, une inversion à deux nappes plus ou moins masquée, la compression postérieure dans le plan vertical étant la plus nette et se traduisant particulièrement chez les grands plongeurs comme les grèbes et les plongeons, par un applatissement des tarses dans ce même plan.

Cette forme générale de fuselage que l'on observe chez les Oiseaux plongeurs aussi bien que chez les Poissons méritait d'être signalée, car, étant donnée sa généralité, elle nous paraît susceptible d'applications pratiques.

BIOLOGIE GÉNÉRALE. — *Sur la semi-perméabilité biologique des parois extérieures des Sipunculides.* Note [1] de M. C. **Dekhuysen**, transmise par M. Y. Delage.

Les liquides cavitaires des invertébrés marins sont isotoniques avec l'eau de mer ambiante. On pourrait admettre que les parois sont, du moins en partie, perméables pour l'eau, les gaz et les sels. Les expériences suivantes vont montrer que la paroi extérieure du *Phascolosoma vulgare* et du *Sipunculus nudus* est *biologiquement semi-perméable*, c'est-à-dire que l'eau pure, $CO^2$ et $O^2$ passent avec une rapidité incomparablement plus grande que les sels.

Ces animaux sont des sacs vermiformes, à parois musculaires fortes, tapissées à l'extérieur par un épiderme, constitué d'une seule couche de cellules, couvertes par une cuticule épaisse, tandis que, à l'intérieur, on

(1) Séance du 20 septembre 1920.

trouve un épithélium à cils vibratils. La cavité générale très vaste est remplie du liquide périviscéral. Elle communique avec le milieu ambiant par deux pores excréteurs, toujours bouchés. Ce n'est qu'une seule fois, au cours d'expériences avec une centaine d'individus, que nous avons vu en sortir le liquide périviscéral, très facilement reconnaissable à sa couleur rougeâtre, due aux nombreuses hématies chargées de hémérythrine. L'animal était en excitation considérable sous l'action du chloroforme. En captivité, les animaux vident leur tube digestif et ne prennent pas le sable. Aussi n'avalent-ils de l'eau de mer qu'en quantités négligeables. Nous avons, dans la pesée, un moyen très simple pour étudier l'action de la pression osmotique du milieu ambiant. La quantité du liquide périviscéral est d'environ 58,6 pour 100 du poids des Phascolosomes, de 57,7 à 62,8 pour 100 du poids des Siponcles. Le point de congélation de $20^{cm^3}$, empruntés à 10 Phascolosomes, était : — 2°, et contenait en chlorures, calculées comme NaCl : 2,925 pour 100. Chez un Siponcle nous en avons trouvé 3,25 pour 100, exactement la même quantité que dans l'eau de mer. Le point de congélation en est : — 2°,03 en moyenne.

1. Un Phascolosome en très bon état, pesant $3^g,125$, est lavé dans 5,45 pour 100 de $NaNO^3$ (à peu près isotonique avec l'eau de mer), puis porté en $100^{cm^3}$ d'eau distillée. 5 minutes après il pèse $3^g,470$; remis dans l'eau de mer il pèse après 3 heures $3^g,145$; le lendemain $3^g,127$. *L'eau distillée ne contenait qu'une trace de* Cl, *correspondant à moins de* $0^{mg},2$ *de* NaCl. Le liquide périviscéral a absorbé 18,8 pour 100 d'eau sans dommage.

2. Poids originel du Phascolosome : $2^g,429$; après 10 minutes dans $H^2O$ : $2^g,932$, donc 35,35 pour 100 de dilution du liquide périviscéral. Remis dans l'eau de mer, après 3 heures, il pèse $2^g,610$.

3. Poids originel : $4^g,308$; après 20 minutes dans $70^{cm^3}$ de $H^2O$ : $4^g,973$. L'animal, très vigoureux, avait contracté ses muscles et réduit sa surface autant qu'il pouvait, ne diluant son liquide périviscéral que de 26,6 pour 100. L'eau d'où il sortait contenait $4^{mg},39$ de NaCl. ; 2 heures dans l'eau de mer réduisent le poids à $4^g,675$.

4. Un Phascolosome, peu vigoureux, pèse $3^g,860$; 10 minutes dans l'eau distillée portent son poids à $4^g,735$, donc 38,7 pour 100 de dilution du liquide périviscéral; après 20 heures dans l'eau de mer, il pèse encore $4^g,150$.

5. Trois Phascolosomes bien portants : I. $7^g,8$, pèse : après 30 minutes (¹), $9^g,5$, donc 37 pour 100 de dilution du liquide périviscéral;

---

(¹) En eau douce contenant $10^{mg}$ de NaCl par $100^{cm^3}$.

45 minutes après remise dans l'eau de mer, $8^g,9$; 16 heures après, $8^g,5$. — II. $3^g,6$, pèse : après 30 minutes ([1]), $4^g,2$, donc 28,5 pour 100 de dilution du liquide périviscéral; 45 minutes après remise dans l'eau de mer, $3^g,9$; 16 heures après, $3^g,7$. — III. $3^g,7$, pèse : après 30 minutes ([1]), $4^g,6$, donc 41 pour 100 de dilution du liquide périviscéral; 45 minutes après remise dans l'eau de mer, $4^g,2$; 16 heures après, $3^g,9$.

6. Trois autres, moins bien portants : I. $4^g,4$, après 80 minutes dans $300^{cm^3}$ d'eau distillée, $5^g,9$; 18 heures après, l'animal, plutôt moribond, avait $4^g,2$. — II. $4^g,2$, après 80 minutes dans $300^{cm^3}$ d'eau distillée, $5^g,4$; 18 heures après, l'animal, moribond, avait $3^g,8$. — III. $1^g,5$, après 80 minutes dans $300^{cm^3}$ d'eau distillée, $2^g,3$; 18 heures après, l'animal, moribond, avait $2^g,3$.

7. Un Phascolosome en bonne condition, pesant $2^g,993$, est mis dans une solution de $12^g$ de NaCl en $100^g$ d'eau; après 25 minutes, $2^g,772$; remis dans l'eau de mer après 2 heures, il pèse $2^g,955$.

Il résulte de ces chiffres que l'état de l'animal joue un grand rôle dans le passage de l'eau et des sels à travers la paroi.

8. Deux Siponcles très bien portants pesaient $60^g,0$ et $64^g,5$; 10 minutes dans de l'eau de mer diluée d'un volume égal d'eau douce portent leur poids à $64^g,5$ et $69^g,3$. Après 19 heures dans l'eau de mer, nous trouvons $59^g,1$ et $64^g,3$; mais 2 jours après, le second pesait $67^g,3$ (sans avoir eu du sable à sa disposition). Ils avaient dilué leur liquide périviscéral de 13 pour 100.

9. Le Siponcle de $67^g,3$ transporté dans de l'eau de mer, où l'on avait dissous $11^g,05$ de NaCl pur, perd en 10 minutes $1^g,3$. Après 6 heures dans l'eau de mer il en regagne $1^g,8$. Son liquide périviscéral contenait $3^g,087$ pour 100 de NaCl : diminution tout à fait explicable par l'absorption de $3^g,5$ d'eau pure dans les expériences décrites.

Nous préparons un liquide hypotonique A en mélangeant $900^{cm^3}$ d'eau de mer avec $100^{cm^3}$ d'eau douce, et un liquide hypertonique B en dissolvant $3^g,5$ de NaCl pur dans $1^l$ d'eau de mer. Donc 10 pour 100 de dilution et 10 pour 100 de concentration.

---

([1]) En eau douce contenant $10^{mg}$ de NaCl par $100^{cm^3}$.

| Poids de 12 Phasc. | Après 20 minutes en A. | Le liq. pér. a donc absorbé p. 100 (1). | Après 20 minutes en B. | Le liq. pér. a donc perdu p. 100 (2). | Dans l'eau de mer après 1 heure. | après 3 heures. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| g 2,901... | g 2,970 | 4,1 | » | » | g 2,953 | » |
| 3,264... | 3,355 | 4,75 | » | » | 3,294 | » |
| 4,655... | 4,765 | 4 | » | » | » | g 4,635 |
| 3,562... | 3,598 | 1,725 | » | » | » | 3,560 |
| 3,730... | 3,835 | 4,8 | » | » | » | 3,790 |
| 2,735... | 2,793 | 3,625 | » | » | » | 2,725 |
| 3,773... | 3,860 | 3,94 | » | » | » | 3,785 |
| 2,810... | » | » | g 2,773 | 2,25 | 2,802 | » |
| 2,331... | » | » | 2,275 | 4,1 | 2,325 | » |
| 3,445... | » | » | 3,255 | 9,4 | » | 3,408 |
| 4,062... | » | » | 3,900 | 6,8 | » | 3,993 |
| 3,545... | » | » | 3,428 | 5,6 | » | 3,520 |
| 3,380... | » | » | 3,308 | 3,6 | » | 3,352 |
| 3,067... | » | » | 2,915 | 7,39 | » | 2,988 |

Quand le milieu ambiant subit des variations de concentration supportables, les animaux se défendent. Ils absorbent moins d'eau dans le milieu hypotonique qu'ils n'en perdent dans le milieu hypertonique au même degré. Est-ce que c'est leur défense musculaire qui combat la pression osmotique? Ce serait un moyen efficace contre le gonflement, impuissant contre le dégonflement; d'ailleurs les animaux s'étendent dans le milieu dilué. Nous croyons plutôt au rôle des cellules de l'épiderme dans la défense. Les gaz respiratoires traversent la paroi : Phascolosomes et Siponcles n'enfoncent dans le sable qu'une partie très peu étendue de leur corps : la trompe ou le pôle apical sortent. Les tentacules ne s'étendent que rarement. Nous n'avons pu trouver d'indications d'un passage de sels par la paroi tant qu'elle était en état normal. C'est donc bien la *semi-perméabilité biologique*.

---

(1) En moyenne 4,49 pour 100 d'eau.
(2) En moyenne 6,52 pour 100 d'eau.

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Les végétaux inférieurs et les facteurs accessoires de la croissance.* Note de M. **Pierre Goy**, présentée par M. Gaston Bonnier.

Depuis que le problème des vitamines a été posé au sujet des animaux supérieurs, bien des chercheurs se sont demandés si les végétaux, et notamment les monocellulaires, avaient besoin de tels composés organiques pour mener à bien leur évolution. De l'avis de quelques auteurs, la question ne fit aucun doute et ceux-ci répondirent par l'affirmative; pour d'autres, il ne saurait y avoir la moindre comparaison à ce sujet entre les végétaux et les animaux; enfin, certains ont admis de la part des infiniment petits une sensibilité marquée à de tels composés sans que la présence de ces corps revête un caractère obligatoire pour leur développement.

Nous nous sommes donc proposé de chercher si vraiment la présence de certains composés organiques était une cause *sine qua non* au développement des végétaux inférieurs, si ceux-ci bénéficiaient d'un apport de corps organique à action spécifique, et enfin dans l'affirmative si ces composés étaient des vitamines, pouvaient y être assimilés ou non.

Nous nous sommes servi à cet effet du *Saccharomyces cerevisiæ* comme sujet d'expérience et du *Mucor Mucedo* en fait de générateur; toutefois nous n'avons pas circonscrit nos recherches à ces deux espèces, ayant expérimenté sur bon nombre d'autres sujets, entre autres *Aspergillus niger*, *Penicillium glaucum*, *Bacillus megatorium* et plusieurs autres Bacilles, Diplobacilles et Streptocoques.

Il ressort de nos recherches :

1° Que les végétaux inférieurs, notamment ceux précités, n'exigent pour leur développement aucun corps organique pouvant de près ou de loin être assimilé aux vitamines, ce terme étant pris au sens habituel du mot, car ils poussent admirablement en milieux minéraux appropriés sans la moindre trace de facteurs accessoires; ces solutions composées de corps strictement purs ayant été de plus stérilisées, pendant 1 heure 30 minntes, à 130°;

2° Que ces mêmes végétaux voient, outre leur métabolisme modifié, la vitesse de leur prolifération accrue dans des proportions surprenantes (sans augmentation toutefois de poids final récolté) par le simple apport de

quelques fractions d'un milieu minéral analogue, mais où avait proliféré auparavant soit une espèce identique, soit un végétal très différent;

3° Que le corps organique communiquant une telle propriété à ces milieux, et que nous avons réussi à isoler d'une culture de *Mucor*, par l'éther, à l'état pur et cristallisable ne révèle sa propriété accélératrice qu'une fois porté en solution au bain-marie à 85°-90°, la perdant seulement vers 168°-170° (chaleur sèche n'entraînant pas sa carbonisation) et n'ayant pas l'air de souffrir beaucoup d'un passage à l'autoclave pendant 1 heure 30 minutes, à 130°.

Nous pouvons d'ores et déjà affirmer que ce corps est un composé carboné à fonction acide, fusible aux environs de 175° sans laisser de cendres, non précipitable par l'acide phosphotungstique, ne présentant aucun des caractères d'un amino-acide quelconque, et ne décelant pas trace de phosphore on d'azote.

Dissoute dans l'eau et évaporée sur lame, la cristallisation de cette substance vue à fort grossissement, rappelle certaines feuilles de fougère; mais si, par exemple, on la porte lentement à son point de fusion elle ne tarde pas à se séparer en deux parties : l'une pulvérulente reste au fond du récipient qui la contient, tandis que l'autre se condense sur les parois affectant une nouvelle forme cristalline de système prismatique, d'ailleurs retransformable en la première, à peu de chose près, à la suite d'une nouvelle dissolution et évaporation. Ni la partie cristallisée, ni celle pulvérulente ne possède plus d'action sur le développement des levures; cette qualité du reste ayant été annihilée par chauffage avant qu'aucune modification physique ne nous ait frappé.

Il nous a été possible d'obtenir des résultats analogues à ceux fournis par ce corps au moyen d'extraits de tissus végétaux, parmi ceux-ci seuls les jus de citron et d'orange se révélèrent comme activant sans même avoir besoin d'être chauffés préalablement; mais par contre ces dernières résistèrent comme les précédents à des températures qui auraient détruit sans nul doute possible les facteurs accessoires dénommés A et B.

Nous nous baserons sur les faits suivants pour conclure à la non-identité des corps appelés *vitamines* d'avec celui trouvé au cours de nos recherches :

1° Besoin d'un chauffage antérieur pour rendre actif ce composé organique;

2° Non-destruction de celui-ci par la chaleur humide, même à haute température;

3° Présence de ce corps dans les grains de riz décortiqués.

Par contre, le peu de matière $0^{mg},8$ pour $50^{cm^3}$ de liquide de Mayer nécessaire au plein effet de son action vis-à-vis des levures et des végétaux inférieurs en général, sa destruction par le radium et par ébullition en solution alcaline, sa plus grande résistance aux rayons ultraviolets, et enfin son caractère véritablement accessoire nécessitant un couvert des éléments minéraux indispensables pour agir efficacement, font que par certains côtés ce composé prend figure de véritable vitamine de croissance, non indispensable à la vie des infiniment petits, mais singulièrement efficace quant à leur prolifération.

Il résulte des recherches précédentes que les vitamines ne sont pas indispensables aux végétaux inférieurs; toutefois l'évolution de ceux-ci est considérablement influencée par un corps organique que nous avons isolé, à l'état pur et cristallisable, de cultures de *Mucor Mucede* en milieux synthétiques.

Ce composé n'agit qu'après avoir été chauffé a 85°-90° et perd sa propriété vers 170°. Il ne présente aucun caractère propre aux acides aminés.

PHYSIOLOGIE PATHOLOGIQUE. — *Diabète et glycémie*. Note de MM. **H. Bierry** et **F. Rathery**, présentée par M. Henneguy.

Dans des conditions physiologiques, bien déterminées, un individu normal présente une *glycémie* qui lui est propre et qui peut être regardée comme sensiblement fixe. Cette glycémie fonctionnelle doit servir de base à des comparaisons ultérieures.

On observe, dans divers états physiologiques ou pathologiques, une augmentation sensible de la teneur en sucre du sang, augmentation qui peut coïncider avec la présence ou non du sucre dans l'urine. Si l'on admet que l'hyperglycémie conditionne la glycosurie, et qu'on prenne le passage du glucose dans l'urine comme réactif de l'hyperglycémie, on constate qu'il existe toute une marge où l'hyperglycémie peut s'exercer sans effet glycosurique, et cela jusqu'à un certain taux qui d'emblée déclenche l'élimination du glucose par le rein. Nous appellerons *hyperglycémie liminaire* la teneur en sucre du sang nécessaire pour produire le *seuil* de la glycosurie. Cette hyperglycémie liminaire est nettement individuelle.

Faute de pouvoir comparer la glycémie des sujets, atteints de diabète, à la glycémie fonctionnelle de ces mêmes sujets lorsqu'ils étaient en bonne santé, nous avons été obligés de tourner la difficulté. Voici le mode opératoire que nous avons adopté pour l'étude de la glycémie des diabétiques, chez lesquels il est possible, par un régime strict ou par le jeûne, de faire disparaître le sucre urinaire.

1° *Régime strict.* — A un diabétique, présentant de la glycosurie, nous faisons une première prise de sang et nous déterminons la teneur du plasma veineux en sucre libre et sucre protéidique. Le diabétique est ensuite soumis à un régime strict, pauvre en hydrates de carbone, comprenant : œufs, viande, légumes verts, beurre, vin et eau. En général, vers le troisième jour de ce régime, le diabétique, du type envisagé, est devenu aglycosurique. Ce régime est prolongé pendant 8 jours, temps au bout duquel est fait un nouvel inventaire en sucre du plasma veineux. Ensuite, on améliore ce régime sous le rapport des sucres en y introduisant un aliment riche en un hydrate de carbone déterminé (pomme de terre par exemple), et l'on cherche, dans les conditions précisées, la capacité de fixation du sujet considéré vis-à-vis de cet hydrate de carbone, dont les prises sont progressivement augmentées, jusqu'à ce que l'urine de 24 heures ne renferme plus que des traces de sucre. A ce moment, nous diminuons très légèrement la dose de l'aliment hydrocarboné de façon à faire disparaître complètement le glucose urinaire (urine de 24 heures), et, par une troisième prise de sang [1], nous déterminons ce que nous appellerons l'*indice glycémique de tolérance*, c'est-à-dire la teneur en sucre libre et sucre protéidique du plasma veineux à ce moment.

Les modifications que nous avons constatées à la suite de ces différentes épreuves peuvent être résumées ainsi : chez la plupart des diabétiques du type envisagé on constate, après 8 jours de régime strict, un abaissement très net de la teneur du plasma veineux, à la fois en sucre libre et en sucre protéidique. Cette teneur se relève, à la suite du régime de tolérance, tout en restant inférieure à la teneur initiale. L'indice glycémique de tolérance prend ainsi une teneur intermédiaire en sucre libre et sucre protéidique. A chaque individu correspond un indice particulier.

---

[1] Les trois prises de sang sont faites à une veine du bras, le matin à jeun, 10 heures environ après le repas du soir, à 8 jours d'intervalle. Il suffit pour la détermination de l'indice glycémique de $8^{cm^3}$ à $10^{cm^3}$ de plasma fluoré.

D'autres modalités ont été observées : à la suite du régime de tolérance, le taux du sucre libre peut remonter et même dépasser le taux initial (correspondant à la première saignée et à l'état de glycosurie), mais le sucre protéidique se maintient à un taux inférieur, ou *vice versa*. Avec certains cas on assiste aux différentes phases d'un jeu de compensation entre le sucre protéidique et le sucre libre.

Quand, initialement, la teneur en sucre protéidique est peu élevée, les variations du sucre protéidique sont peu accusées.

2° *Jeûne*. — Pendant le jeûne, la teneur du plasma veineux en sucre libre et en sucre protéidique subit une baisse notable. Exemple :

| | Sucre libre pour 100. | Sucre protéidique pour 100. |
|---|---|---|
| Avant le jeûne | 1g,33 | 1g,88 |
| Pendant le jeûne | 0g,99 | 1g,21 |

*Diabète consomptif*. — Dans le diabète consomptif, avec acidose, on peut, au cours du jeûne, observer deux sortes de phénomènes : 1° la teneur du plasma en sucre libre et en sucre protéidique augmente et les symptômes de coma apparaissent; 2° les signes d'acidose disparaissent, la glycosurie s'atténue considérablement ou cesse; le taux du sucre libre et protéidique baisse dans le plasma. Exemple :

| | Sucre libre pour 100. | Sucre protéidique pour 100. |
|---|---|---|
| Avant le jeûne | 4g,31 | 0g,81 |
| Pendant le jeûne | 2g,65 | 0g,40 |

*Conclusions*. — Des recherches faites sur 45 diabétiques nous déduisons les conclusions suivantes : 1° chaque diabétique a un indice glycémique de tolérance qui lui est propre; 2° un chiffre élevé de cet indice est en rapport avec un pronostic réservé; 3° la valeur de l'indice glycémique protéidique, qui n'avait pas été envisagé jusqu'ici, paraît revêtir un intérêt tout particulier; 4° l'étude de l'indice glycémique donne le moyen de suivre des modalités de diabète que le simple examen des urines ne permet pas d'envisager. Dans la pratique courante, une seule prise de sang, faite dans les conditions précitées, permet de caractériser l'indice glycémique de tolérance.

A 16 heures et quart, l'Académie se forme en Comité secret.

## COMITÉ SECRET.

La Section de Chimie, par l'organe de son Doyen M. Lemoine, présente la liste suivante de candidats à la place vacante par le décès de M. *Armand Gautier* :

| | |
|---|---|
| *En première ligne, ex æquo et par ordre alphabétique*. . . . . . . . . . . . . . . . . . . | MM. **Auguste Béhal**<br>**Georges Urbain** |
| *En seconde ligne, ex æquo et par ordre alphabétique*. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | MM. **Émile Blaise**<br>**Albert Colson**<br>**Marcel Delépine**<br>**Paul Lebeau** |

A l'unanimité, l'Académie adjoint à cette liste le nom de M. **Camille Matignon**.

Les titres de ces candidats sont discutés.

L'élection aura lieu dans la prochaine séance.

La séance est levée à 18 heures.

É. P.

## *ERRATA.*

—

(Séance du 3 janvier 1921.)

État de l'Académie des Sciences au 1er janvier 1921 :

Page 16, à la liste des Membres élus depuis le 1er janvier 1920, *ajouter : Académiciens libres.* — M. J.-L. Breton, le 29 novembre.

Page 17, ligne 11, *au lieu de* M. Vito Volterra, décédé, *lire* M. Vito Volterra, élu Associé étranger.

Note de M. *R. de Forcrand*, Sur le point de fusion de l'heptane et la loi d'alternance des points de fusion :

Page 31, ligne 8, *au lieu de* exécuté en 1896, *lire* exécuté en 1916.

Note de M. *A. Liénard*, Potentiels scalaire et vecteur dus au mouvement de charges électriques :

Dans toutes les formules des pages 52 et 53, lire partout $r$ au lieu de $v$.

(Séance du 17 janvier 1921.)

Note de M. *Charles Frémont*, Essai, à l'emboutissage, des tôles minces :

Page 148, lignes 6 et 14, *au lieu de* kg, *lire* kgm (kilogrammètres).